



(12) **EUROPEAN PATENT APPLICATION**

(43) Date of publication:  
**02.07.1997 Bulletin 1997/27**

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: **G11B 5/39**

(21) Application number: **96119480.0**

(22) Date of filing: **04.12.1996**

(84) Designated Contracting States:  
**DE NL**

(30) Priority: **29.12.1995 US 580661**

(71) Applicant: **READ-RITE CORPORATION**  
**Milpitas California 95035 (US)**

(72) Inventors:  
• **Rottmayer, Robert Earl**  
**Fremont, California 94539 (US)**

• **Tong, Hua-Ching**  
**San Jose, California 95120 (US)**

(74) Representative: **Körber, Wolfhart, Dr. rer.nat.**  
**Patentanwälte**  
**Mitscherlich & Partner,**  
**Sonnenstrasse 33**  
**80331 München (DE)**

(54) **Magnetoresistive cpp mode transducer with multiple spin valve members**

(57) A magnetoresistive sensing device employs a plurality of spin valve giant magnetoresistive sensors (123) with sense current flowing through the sensors in a direction perpendicular to the plane of the sensors.

The spin valve sensors alternate in the structure with nonmagnetic spacer layers.

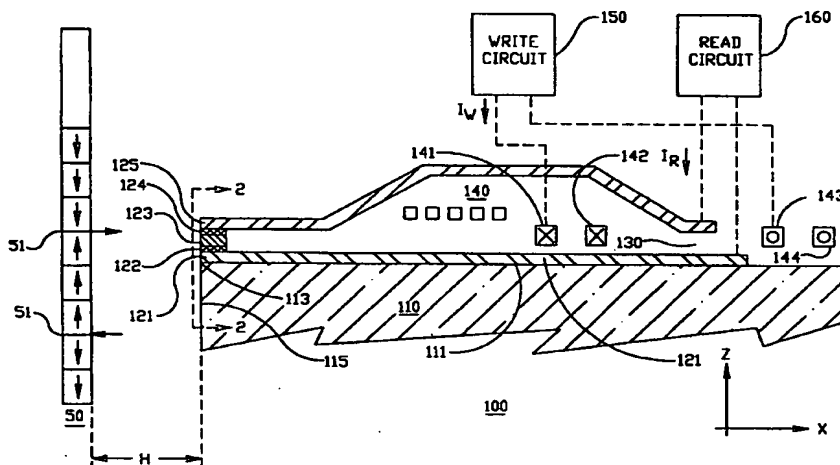


Fig 1

## Description

### CROSS-REFERENCE TO RELATED PATENT APPLICATION

U.S. Patent Application serial No. 08/337,878, filed November 14, 1994, assigned to the same assignee as the present application, discloses a transducer employing a giant magnetoresistive (GMR) element with a magnetic bias and utilizing a sense current flow perpendicular (CPP mode) to the plane of the GMR element.

### BACKGROUND OF THE INVENTION

#### Field of the Invention

This invention relates to magnetoresistive (MR) transducers and in particular to MR transducers employing a plurality of spin-valve members.

#### Description of the Prior Art

The prior art discloses a type of magnetic transducer, referred to as an MR sensor or head, which is capable of reading data from a magnetic surface at great linear densities. An MR sensor detects magnetic field signals through the resistance changes of a magnetic read element as a function of the amount and direction of magnetic flux signals being sensed by the element.

Write operations are carried out inductively using a pair of spaced magnetic pole members. These magnetic write pole members form a magnetic path and define a nonmagnetic transducing gap in a pole tip region, with the pole members in contact with each other at a back closure region. The transducing gap is positioned to fly close to the surface of an adjacent recording medium, such as a magnetic disk, for example.

Some of these prior art MR sensors operate on the basis of the anisotropic magnetoresistive (AMR) effect, in which a component of the sensor resistance varies as the square of the cosine of the angle between the magnetization direction and the direction of current flow. These MR sensors function as a result of the AMR effect, even though this effect produces a relatively small percentage change in the resistance of the magnetic element.

Another type of MR sensor has been identified in which the resistance between two uncoupled ferromagnetic layers varies as the cosine of the angle between the directions of magnetization of the two layers and is independent of the direction of current flow. This mechanism produces a magnetoresistance that, for selected combinations of materials, is greater in magnitude than the AMR effect, and is referred to as "spin valve" (SV) magnetoresistance.

A publication entitled Design, Fabrication and Testing of Spin-Valve Read Heads for High Density Record-

ing, Tsang et al, IEEE Transactions On Magnetism, November 1994, pages 3801-3806, describes an SV structure in which a first ferromagnetic layer is fixed or "pinned" in its magnetic orientation direction and a second ferromagnetic layer separated from the first layer has its magnetic moment free to rotate in response to signal fields to be sensed.

U.S. Patent 5,159,513, Dieny et al, discloses an SV sensor comprising a layered structure formed on a substrate and includes first and second thin film layers of magnetic material separated by a thin film layer of non-magnetic metallic material. The magnetization direction of the first ferromagnetic layer at zero applied field is set substantially perpendicular to the magnetization direction of the second ferromagnetic layer which is fixed or pinned in position. A current flow is produced through the sensor and the variations in voltage across the MR sensor, due to the changes in resistance produced by rotation of the magnetization direction in the first layer of ferromagnetic material as a function of the magnetic field being sensed, are detected.

In many MR heads, the MR element is electrically isolated from a pair of magnetic shields, and a separate set of conductors are provided on one surface of the MR element to pass a reference current through the MR element in a so-called current-in-the-plane (CIP) mode. The CIP mode can create problems such as shorting due to electromigration, and, additionally, a CIP mode MR element can be relatively large in size and expensive to mass produce because of its complex construction.

As an alternate to CIP mode MR heads, a type of MR sensor is utilized in which the sense current flows through the MR element in a direction perpendicular-to-the-plane (CPP) of the MR element. These CPP mode heads have a number of advantages over CIP mode heads, including the fact that the read signal produced by CPP heads is essentially independent of the signal track width. An example of such a CPP mode MR sensor in a giant magnetoresistive (GMR) sensor is described in the publication A New Design For An Ultra-High Density Magnetic Recording Head Using A GMR Sensor In The CPP Mode, Rottmayer et al, IEEE Transactions On Magnetism, Volume 31, No. 6, 2597, November 1995.

### SUMMARY OF THE INVENTION

In accordance with this invention, an MR sensor is provided which employs a plurality of SV elements. The SV elements are positioned in the structure between a pair of spaced conductors carrying sense current which flows between the conductors to produce operation of the SV elements in the CPP mode. The transducer structure of this invention provides a sensor which is self-aligning with a data track on the recording medium.

### DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

Figure 1 is side view, partly in cross-section, of a transducer in accordance with the invention;  
 Figure 2 is a view along plane 2-2 of Fig. 1 showing details of the read portion of the transducer;  
 Figure 3A is a cross-section showing details of the read portion of the transducer including the spin valves and adjacent conductor members;  
 Figure 3B is a cross-section showing the structure of a typical spin valve; and  
 Figure 4 is a diagram illustrating the rotation of magnetization direction in a spin valve sensor.

### DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENT

Figs. 1 and 2 show a head structure 100 and a magnetic medium 50 which moves relative to head structure 100 along the Z direction (+Z or -Z). Head structure 100 is spaced from magnetic medium 50 in the X direction by an aerodynamically-defined flying height H. As head structure 100 is passed by transition regions 51 in medium 50, a magnetoresistive portion 123 of head structure 100 detects the flux or fringe fields and responds by changing its resistance. A slider-shaped substrate 110 made of a magnetically nonconductive material such as ceramic forms a bulk portion of head structure 100 and provides aerodynamic lift.

Substrate 110 has a substantially planar top surface 111 extending in the X direction and a medium-facing sidewall 115 cut substantially at right angles to top surface 111 so as to extend in the Z direction. A first pole/shield layer 121, made of a material that is both magnetically and electrically conductive (an EC/MC material), is formed conformably on substrate top surface 111 extending to forward edge 113. The material of first pole/shield layer 121 can be a nickel-iron composition, such as Permalloy, or a ferromagnetic material with high permeability. The Z direction thickness of first pole/shield layer 121 is preferably in the range of 1 to 4 microns.

A first conductor or contact element 122 made of an electrically conductive but magnetically nonconductive material (an EC/MN material) is formed over a forward portion of pole/shield layer 121, near the substrate's forward edge 113. First contact element 122 can be composed of one or a combination of EC/MN materials selected for example from the group consisting of: copper, gold, silver, and alloys of these metals. The Z direction thickness of first contact element 122 is preferably in the range of 200 Å to 2,000 Å.

An MR element 123 is formed over first contact element 122, as shown in more detail in Figs. 2, 3A and 3B. As known, the electric resistance of such an MR element 123 varies when exposed to a time-varying magnetic flux. Unlike inductive transducers, an MR element is sensitive to the magnitude of a flux transition rather than to the rate of change of the flux transition. This gives MR elements certain advantages over inductive

transducers, such as insensitivity to medium speed changes. The overall Z direction thickness of element 123 is preferably in the range of 50 Å to 2,000 Å.

A second contact element 124 made of an EC/MN material that is the same or equivalent to that of first contact element 122 is formed over MR element 123. The Z direction thickness of second contact element 124 is substantially the same as that of first contact element 122. A second pole/shield layer 125, made of an EC/MC material that is the same or equivalent to that of first pole/shield layer 121, is formed over second contact element 124. The Z direction thickness of second pole/shield layer 125 is substantially the same as or greater than that of first pole/shield layer 121.

First and second pole/shield layers 121 and 125 extend in the +X direction beyond sandwiched elements 122 through 124 to define a back gap 130. Back gap 130 is filled with a material that is at least electrically nonconductive (EN/MX material) and more preferably with a material that is both magnetically and electrically nonconductive (EN/MN) such as  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , or hard-baked resist. The space at forward edge 113 between the top of first pole/shield layer 121 and the bottom of second pole/shield layer 125 defines a forward gap G (Fig. 2). The dimension of forward gap G is defined by the combined Z direction thicknesses of first contact element 122, MR element 123 and second contact element 124. The X direction width of elements 122 through 124 is preferably 0.2 to 0.4  $\mu$ .

A planar write coil 140 having electrically conductive winding members indicated at 141-144 is formed about the back gap 130 and electrically insulated from first and second pole/shield layers 121 and 125 by a EN/MN fill and planarizing structure. A write circuit 150 connects to opposed ends of coil 140, and during a write mode sends electrical current  $I_W$  passing in a first direction through winding members 141-142 positioned on a forward side of back gap 130 and sends electrical current passing in a second, opposite direction through winding members 143-144 positioned on a rear side of back gap 130, to thereby induce flux flow through the forward and back gaps. Changes in flux flow across the forward gap produce different magnetic orientations of the magnetized regions in magnetic medium 50 during a write operation.

A read circuit 160 connects to opposed back ends of the first and second pole/shield layers 121 and 125, and during a read mode sends a sensing electric current  $I_R$  passing in the Z direction through sandwiched elements 122, 123, 124. The read-sense current  $I_R$  flows perpendicularly through MR element 123, thus avoiding the CIP electromigration problems discussed above.

Figs. 3A and 3B illustrate details of the read-back sensor structure (Fig. 3A) and a typical spin valve structure within the read-back structure (Fig. 3B). In Fig. 3A, conductors 124, 122 are shown located above and below the spin valve structures. This structure includes a plurality of spin valve members 18<sub>1</sub>, 18<sub>2</sub>, 18<sub>3</sub>, 18<sub>4</sub> sep-

arated by spacers 19<sub>1</sub>, 19<sub>2</sub>, 19<sub>3</sub> of a suitable nonmagnetic material such as Cu, Ag, Au, or the like. The number of spin valve sensors employed depends on space limitations in the transducing gap and on fabrication complexities. The number of such sensors shown in Fig. 3A is representative only and is not meant to limit the invention. 5

The structure of a typical spin valve is shown in Fig. 3B and includes a free layer 20 of a suitable magnetic material such as NiFe or NiFeCo. A spacer layer 21 such as Cu, Ag, Au, or the like, positioned above free layer 20 and is followed by a pinned magnetic layer 22 of a suitable magnetic material such as NiFe, NiFeCo, Co, or the like. Layer 22 is followed by an exchange bias layer 23 of FeMn, NiMn, TbCo, or the like. 10 15

Fig. 4 shows the operation of the spin valve structure in which arrow 22' represents the direction of magnetization of magnetically pinned layer 22, while arrow 20' and its associated dotted lines indicate the movement of the direction of magnetization of free layer 20 in response to a varying magnetic field from the magnetic medium. 20

#### Claims 25

##### 1. A magnetoresistive sensing device comprising: 25

a magnetoresistive sensor (123) including a plurality of spin valve members, each of said spin valve members including a free magnetic layer and a pinned magnetic layer spaced from said free layer by a nonmagnetic layer; and electrically conductive means (122, 124) in contact with said magnetoresistive sensor (123) for supplying sense current thereto so that said sense current flows through said sensor in a direction perpendicular to the plane of said sensor. 30 35 40

##### 2. A sensing device as in Claim 1, in which said conductive means (122, 124) includes a pair of pole/shield layers (121, 125) disposed on opposite sides of said magnetoresistive sensor (123) and magnetically coupled thereto to form a transducing gap. 45

##### 3. A sensing device as in Claim 2, wherein the number of spin valve members is proportional to the size of said transducing gap. 50

##### 4. A sensing device as in Claim 2 or 3, including write coil means (140) magnetically coupled to said pole/shield layers (121, 125) for supplying a write flux to said sensing device. 55

##### 5. A sensing device as in anyone of Claims 2, 3 or 4 in which said spin valve members are positioned between a pair of electrically conductive layers and

said electrically conductive layers are positioned between said pole/shield layers (121, 125).

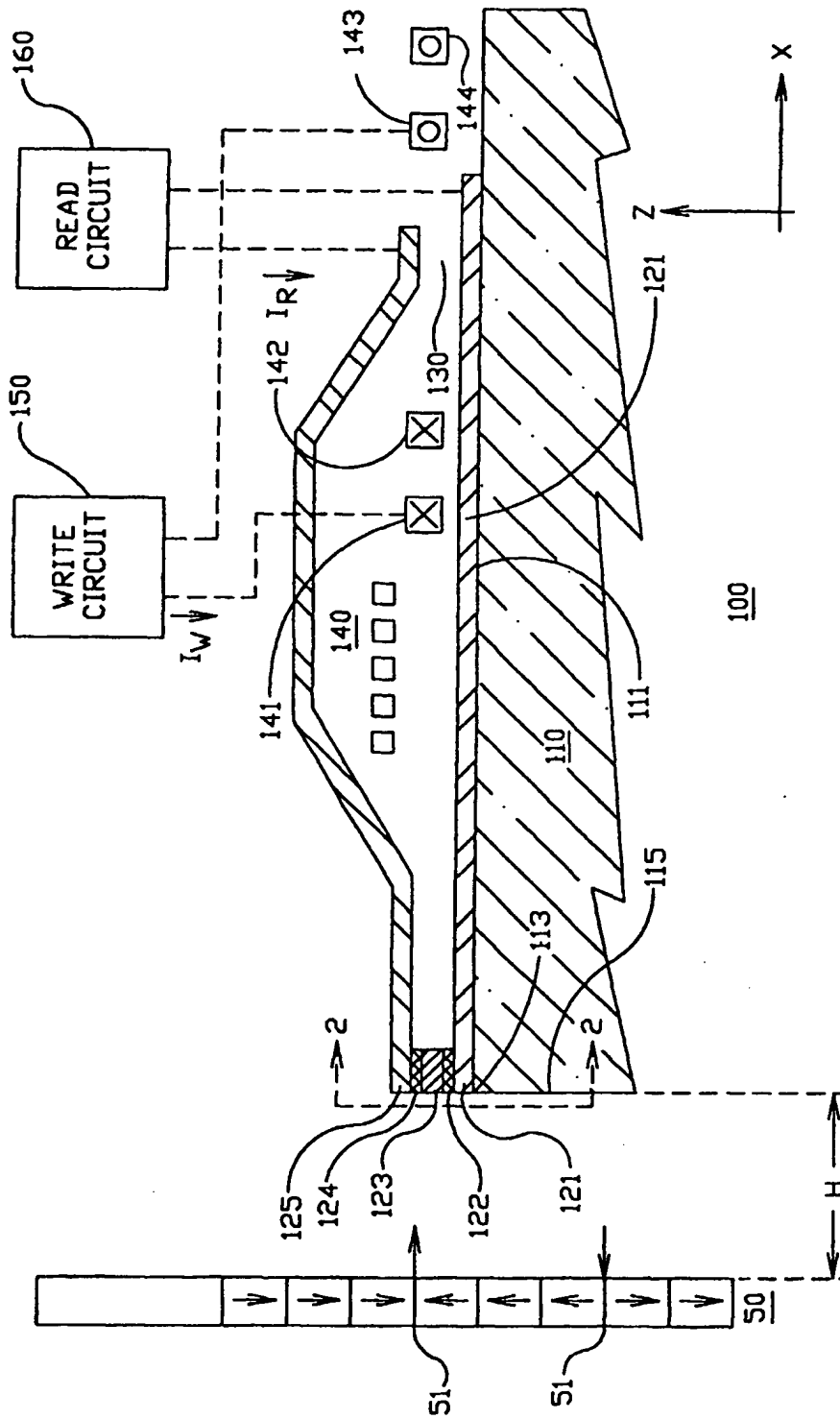


Fig 1

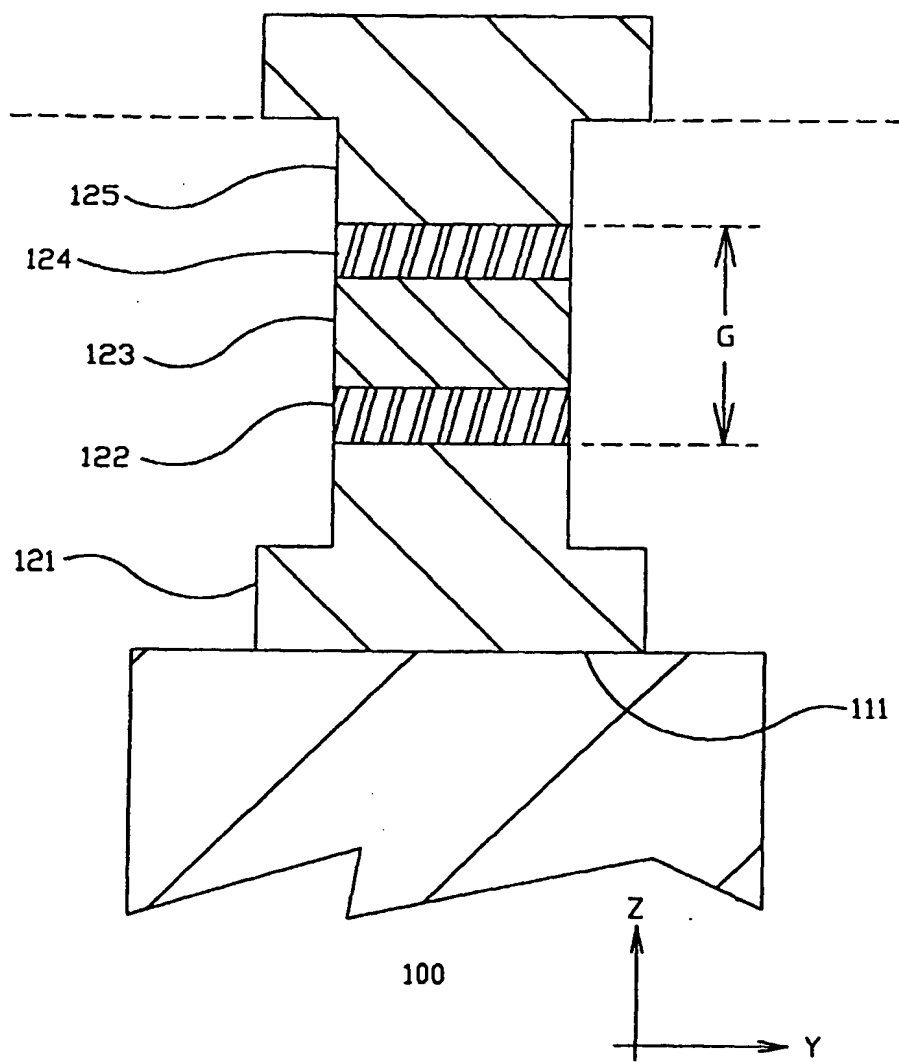


Fig 2

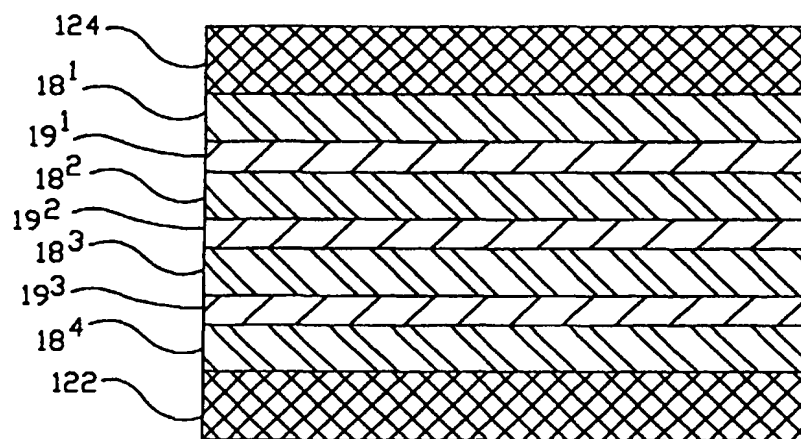


Fig 3A

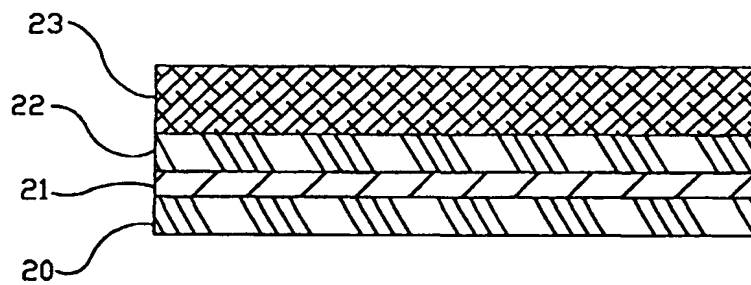


Fig 3B

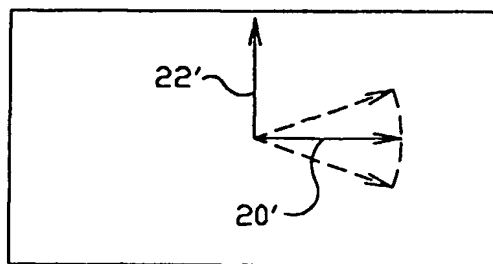


Fig 4

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-175920

(43)Date of publication of application : 02.07.1999

(51)Int.Cl.

G11B 5/39

(21)Application number : 09-335501

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 05.12.1997

(72)Inventor : ISHIWATA NOBUYUKI  
TSUGE HISANAO  
MATSUDERA HISAO  
TSUKAMOTO YUJI  
NAKADA MASABUMI  
KAMIJO ATSUSHI

## (54) MAGNETO-RESISTANCE EFFECT TYPE COMBINED HEAD AND ITS MANUFACTURE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To increase the line density and the track density by arranging the tip section region, which supplies a bias magnetic field to a central region, so that the region, that is made of a ferromagnetic tunnel joint magneto-resistance effect film, is sandwiched from both sides.

**SOLUTION:** A first ferromagnetic layer 103, which is made of a Ta film and an Ni-Fe film, and the electrically conductive layer made of an Al film are continuously spatter vapor deposited from the bottom shield side successively. Then, the Al conductive layer is oxidized to form a tunnel barrier layer 104. After the operation above, a second ferromagnetic layer 105, which is made of a Co-Fe film, and an anti-ferromagnetic film 106 made of an Ni-Mn film are spatter vapor deposited to complete a TMR film. Having completed the TMR film, a formation is made for a non-magnetic insulation layer 107, which is made of alumina, a permanent magnet layer 108 made of CoCrPt and a Ta non-magnetic layer 109 by a spattering vapor deposition. The permanent magnet layer is formed after the tip section, which is made by patterning the TMR film, is covered by the non-magnetic insulation layer.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 05.12.1997

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 11.04.2000

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2000-07044

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 11.05.2000

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-175920

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月2日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 1 1 B 5/39

識別記号

F I

G 1 1 B 5/39

審査請求 有 請求項の数13 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平9-335501

(22) 出願日 平成9年(1997)12月5日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 石綿 延行

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 柘植 久尚

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 松寺 久雄

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 弁理士 稲垣 清

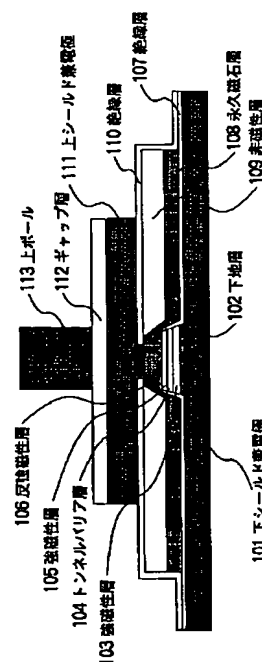
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果型複合ヘッドおよびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 TMR素子を用いた高密度な磁気記録再生に適した磁気ヘッドを提供する。

【解決手段】 磁気抵抗効果型複合ヘッドは、スライダ上に順次に積層された第1及び第2の磁気シールドと、この双方の磁気シールドの間に配設された磁気抵抗効果（以下、MRと記す）素子とから成る再生ヘッドを有する。記録ヘッドは、第1の磁気シールド膜を一方の磁極膜と兼用し、この磁極膜の磁気抵抗効果素子と反対側に、絶縁体で挟まれたコイルと第2の磁極とが第1の磁極膜に対して積層される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 スライダ上に順次に積層された第1及び第2の磁気シールドと、該双方の磁気シールドの間に配設された磁気抵抗効果素子（以下、MR素子と呼ぶ）とを有する再生ヘッドと、前記第2の磁気シールドを第1の磁極膜とし、該第1の磁極膜と磁気ギャップを挟んで対向する第2の磁極膜を有し、前記再生ヘッドに隣接して配設された記録ヘッドとを備える磁気抵抗効果型複合ヘッドにおいて、前記MR素子が、

前記第1及び第2の磁気シールドを電極とし該第1及び第2の磁気シールドの面間にはほぼ垂直方向に流れる電流によって磁気抵抗効果を発生させる第1の強磁性層及び第2の強磁性層と、該第1及び第2の強磁性層の間に配設されたトンネルバリア層とを有する強磁性トンネル接合磁気抵抗効果膜（以下、TMR膜と記す）から成る中央領域と、

前記中央領域を両側から挟み込むように配設され、該中央領域にバイアス磁界を供給する端部領域とから構成されることを特徴とする磁気抵抗効果型複合ヘッド。

【請求項2】 前記TMR膜が、下地層、前記第1の強磁性層、前記トンネルバリア層、前記第2の強磁性層、及び、反強磁性層をこの順に備えることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗効果型複合ヘッド。

【請求項3】 前記TMR膜が、下地層、反強磁性層、前記第1の強磁性層、前記トンネルバリア層、前記第2の強磁性層、及び、非磁性導電層をこの順に備えることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗効果型複合ヘッド。

【請求項4】 前記反強磁性膜が、 $Mn-X$ （ $X$ はCr、Fe、Co、Ni、Tc、Ru、Rh、Pd、Re、Os、Ir、Ptから選択される少なくとも1種類の元素を含む）を主成分とする合金であることを特徴とする、請求項2又は3に記載の磁気抵抗効果型複合ヘッド。

【請求項5】 前記下地層が、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Siから選択される少なくとも1種類の元素を主成分とすることを特徴とする、請求項2乃至4の何れかに記載の磁気抵抗効果型複合ヘッド。

【請求項6】 前記第1及び第2の強磁性層が、Fe、Co、Ni、又は、これらの元素を含む合金であることを特徴とする、請求項1乃至5の何れかに記載の磁気抵抗効果型複合ヘッド。

【請求項7】 前記磁気シールドが、Fe、Co、Niを主成分とする軟磁性合金、又は、 $Co-M$ （ $M$ はTi、V、Cr、Fe、Ni、Cu、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Si、Alから選択される少なくとも1種類の元素）を主成分とする非晶質軟磁性合金、又

は、 $T-A-B$ （ $T$ はFe、Co、Niから選択される少なくとも1種類の元素、 $A$ はTi、V、Cr、Cu、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Si、Alから選択される少なくとも1種類の元素、 $B$ はB、C、N、Oから選択される少なくとも1種類の元素）を主成分とする軟磁性合金、又は、 $Fe-Si-Al$ を主成分とする軟磁性合金であることを特徴とする、請求項1乃至6の何れかに記載の磁気抵抗効果型複合ヘッド。

【請求項8】 前記TMR膜と前記第2の磁気シールドとが電氣的に結合する面積が、前記TMR膜の前記第2の磁気シールドと対向する面の面積以下であることを特徴とする、請求項1乃至7の何れかに記載の磁気抵抗効果型複合ヘッド。

【請求項9】 前記中央領域と前記端部領域との接合面に絶縁体が介在することを特徴とする、請求項1乃至8の何れかに記載の磁気抵抗効果型複合ヘッド。

【請求項10】 前記端部領域が、前記第1の磁気シールド側から順次に配設された非磁性絶縁膜、永久磁石膜、及び、非磁性膜を備えることを特徴とする、請求項1乃至9の何れかに記載の磁気抵抗効果型複合ヘッド。

【請求項11】 スライダ上に第1の磁気シールドを形成する工程と、強磁性トンネル接合磁気抵抗効果（以下、TMRと呼ぶ）膜からなる中央領域と該TMR膜にバイアス磁界を印加する端部領域とを有するTMR素子を形成する工程と、前記TMR素子を覆い、かつ、中央領域上で再生トラック幅を決定するバターニングがなされた絶縁膜を形成する工程と、第2の磁気シールドを形成する工程とを含む、磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造方法であって、

前記TMR素子を形成する工程が、前記TMR膜を成膜する工程と、該TMR膜上にフォトリソマスクを形成する工程と、該フォトリソマスクによって前記TMR膜をバターニングする工程と、前記端部領域を前記フォトリソマスクによってリフトオフする工程とを含むことを特徴とする、磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造方法。

【請求項12】 前記バターニングがなされた絶縁膜を形成する工程が、絶縁膜を成膜する工程と、該絶縁膜上にフォトリソマスクを形成する工程と、該フォトリソマスクによって前記絶縁膜をリフトオフする工程とを有することを特徴とする、請求項11に記載の磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造方法。

【請求項13】 スライダ上に第1の磁気シールドを形成する工程と、強磁性トンネル接合磁気抵抗効果（以下、TMRと呼ぶ）膜からなる中央領域と該TMR膜にバイアス磁界を印加する端部領域とを有するTMR素子を形成する工程と、第2の磁気シールドを形成する工程とを含む、磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造方法であ

て、  
前記TMR素子を形成する工程が、TMR膜を成膜する工程と、該TMR膜上にフォトレジストマスクを形成する工程と、該フォトレジストマスクによって前記TMR膜をパターンニングする工程と、端部領域を前記フォトレジストマスクによってリフトオフする工程とを有することを特徴とする、磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気ディスク装置等に使用される薄膜磁気ヘッドに関し、特に強磁性トンネル接合による磁気抵抗効果を利用した磁気記録再生ヘッドに関する。

【0002】

【従来の技術】磁気記録装置の小型化、大容量化にともなう、再生出力が大きな磁気抵抗効果型ヘッド（以下、MRヘッドと記す）が実用化している。MRヘッドについては、「A Magnetoresistivity Readout Transducer」(IEEE Trans. on Magn., MAG7 (1971) 150) に述べられている。

【0003】従来のMRヘッドを改善し、更に大幅な高出力化を実現できる巨大磁気抵抗効果（以下、GMRと記す）を用いたGMRヘッドがある。このGMRでは、抵抗変化が2枚の隣接する磁性層の磁化方向間の余弦と対応する、一般にスピンバルブ効果と呼ばれる磁気抵抗効果を利用しており、小さな動作磁界で大きな抵抗変化が得られる。スピンバルブ効果を用いたMRヘッドについては「Design, Fabrication & Testing of Spin-Valve Read Heads for High Density Recording」(IEEE Trans. on Magn., Vol. 30, No. 6 (1994) 3801) に記載がある。しかしながら、実際のMRヘッドに適用できるスピンバルブ効果による磁気抵抗変化率は数%にすぎず、高密度記録を推進するために必要な狭トラック化に際しては、より抵抗変化量の大きな磁気抵抗効果が求められている。

【0004】強磁性トンネル接合は、二つの強磁性層の間に数nm厚の薄い絶縁体からなるトンネルバリア層を挟んだ構造を持つ。この構成により、強磁性層間に一定の電流を流した状態で強磁性層面内に外部磁界を印加した場合に、両磁性層の磁化の相対角度に応じて抵抗値が変化する磁気抵抗効果現象が現れることから、強磁性トンネル接合磁気抵抗効果（TMR）と呼ばれている。この磁化の向きが平行であるときには抵抗値が最小となり、反平行であるときには抵抗値が最大となる。従って、両磁性層に保磁力差を付与することによって、磁界の強さに応じて磁化の平行及び反平行状態を実現できるため、

抵抗値の変化による磁界検出が可能となる。

【0005】近年、トンネルバリア層にAlの表面酸化膜を用いて20%近い磁気抵抗変化率を示すTMR素子を得たことで、磁気ヘッドや磁気メモリへの応用の可能性が高まってきた。Journal of Applied Physics, Vol. 79, Page 4724~4729, 1996にこのような大きな磁気抵抗変化率の例が述べられている。

【0006】すなわち、蒸着マスクを用いてガラス基板上にCoFeからなる第1の強磁性層を真空蒸着し、引き続きマスクを交換して1.2~2.0nm厚のAl層を蒸着する。このAl層表面を酸素グロー放電に曝すことによって、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>からなるトンネルバリア層を形成する。最後に、このトンネルバリア層を介して第1の強磁性層と重なるように、Coからなる第2の強磁性層を成膜して、十字電極型の強磁性トンネル接合素子を完成させる。この方法では、磁気抵抗変化率として最大18%という大きな値が得られている。

【0007】その他の記載例として、特開平5-63254、特開平6-244477、特開平8-70148、特開平8-70149、特開平8-316548及び「1997年、日本応用磁気学会誌、21巻、493~496頁」などがあり、トンネルバリア層の形成方法として、Al層を成膜した後に、大気中に曝してAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を成長させる方法が述べられている。

【0008】TMR素子を磁気ヘッドや磁気メモリなどのデバイスに適用するためには、熱雑音の影響を低減する必要があり、この場合、実用素子寸法で或る程度低い抵抗値が必要である。しかし、従来のトンネルバリア形成法ではその実現が困難であった。また、高密度化に対応した磁気ヘッドへの応用では、信号出力電圧の大きさが鍵を握るが、従来技術では素子特性を損なうことなく十分な電流密度が得られないという問題もあった。さらに、従来技術ではウエーハ内やロット間の素子特性のばらつきが大きく、実用に供するだけの十分な製造歩留まりを得ることは難しかった。

【0009】上述の問題は、主に従来のトンネルバリア層の形成方法に起因すると考えられる。酸素グロー放電を用いる方法では、イオンやラジカル状態の活性酸素を導電層の酸化に用いるため、薄い酸化膜厚の制御すなわち素子抵抗の制御が難しいといった問題や、同時に発生する活性化された不純物ガスによってトンネルバリア層が汚染されて接合品質が劣化するという問題がある。一方、大気中での自然酸化による方法では、大気中の粉塵でトンネルバリア層にピンホールが生じ、更には、水分、炭素酸化物、窒素酸化物等の汚染を受けるなど、酸素グロー放電と同様に、多くの問題があった。

【0010】特願平9-209292には、実用に必要抵抗値及び信号出力電圧特性を備え、製造歩留まりを改善したTMR素子の製造方法として、第1の強磁性層、トンネルバリア層、第2の強磁性層を真空中で連続

10

20

30

40

50

形成する工程と、金属または半導体からなる導電層を成膜した後に、真空中に酸素を導入し、この導電層表面を自然酸化してトンネルバリア層を形成する工程とを有する方法が述べられている。

【0011】さらに、特願平9-209292では、第1の強磁性層、トンネルバリア層、第2の強磁性層を真空を維持しつつ連続形成する工程と、前記第1の強磁性層を成膜した後に、真空を維持しつつ酸素を導入してこの第1の強磁性層表面を酸化する工程と、金属または半導体からなる導電層を成膜した後に、真空中に酸素を導入し、この導電層表面を自然酸化してトンネルバリア層を形成する工程とを含むTMR素子の製造方法が記載されている。

【0012】図11を参照して、特願平9-209292のに述べられたTMR膜の製造方法を説明する。下地層10、第1の強磁性層11、導電層12を真空中で連続成膜した後に(図11(a))、真空を破ることなく純酸素を導入し、導電層12の表面を自然酸化してトンネルバリア層13を形成する(図11(b))。なお(図11(b))は、導電層の酸化後でも第1の強磁性層11との界面に導電層の未酸化部分が残されている場合を示しているが、酸化条件次第で完全に酸化させることも可能である。酸素を排気した後に、第2の強磁性層14を成膜してTMR膜の基本構造を完成させる(図11(c))。次に、反強磁性層15を成膜してTMR素子の基本構造を完成させる(図11(d))。

【0013】上記公報記載の方法では、不純物ガスの影響を受けない清浄な雰囲気中で熱平衡状態を保ったまま酸化層の成長が可能であるため、高品質のトンネルバリア層を制御性よく形成することができる。また、酸素圧力や基板温度の制御によって磁気ヘッドなどのデバイス応用に必要な低抵抗値及び高電流密度の素子を得ることができる。さらに、ウエーハ内の素子特性の均一性やロット間の再現性に優れた素子が得られる。強磁性層にFe、Co、Niまたはそれらを含む合金を用いた場合には、導電層として強磁性層の表面自由エネルギーより小さな値を持つAlを選択することにより、下地となる第1の強磁性層に対して良好な被覆性が可能となる。その結果、完成された素子ではピンホールによる強磁性層間の電気的ショートのない良好な特性が得られる。また、Alの酸素一原子当たりの生成自由エネルギーはFe、Co、Niよりも大きいため、トンネルバリア層となるAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は接合界面で熱的に安定する。導電層にMgやランタノイドに属する金属を選択した場合には、同様な理由から下地となる第1の強磁性層11に対する良好な被覆性ととも、さらに熱的に安定なトンネルバリア層が得られる。

【0014】図12を参照して、特願平9-209292に述べられたTMR素子の従来の製造工程を説明する。第1の強磁性層11を成膜した後に(図12

(a))、真空中に酸素を導入して、この表面に酸化層21を形成する工程を加えると(図12(b))、次の工程で導電層12を成膜する際に第1の強磁性層11から導電層12に酸素拡散が起こり(図12(c))、導電層12側にも酸化層23が形成される。この方法では、強磁性層に接する両方の界面に導電層12の酸化層24が形成されるため(図12(d))、より熱安定性に優れた素子を実現される。酸素を排気した後、第2の強磁性層14を成膜し(図12(e))、反強磁性層15を成膜してTMR素子の基本構造を完成させる(図12(f))。導電層12側に安定な酸化層を形成するためには、導電層12の酸素一原子当たりの生成自由エネルギーが第1の強磁性層11を構成する元素よりも大きいことが必要である。強磁性層にFe、Co、Niまたはそれらを含む合金を用いた場合には、導電層12としてAl、Mg、ランタノイドに属する金属を用いることが有効である。

【0015】図10は、従来のTMR素子を用いた磁気ヘッドのABS面の構造の一例を示すもので、日経エレクトロニクス1997.4.7(No.686)に述べられている。TMR膜とその両端部に形成された電極からなるTMR素子は、絶縁膜を介して磁気シールド内に存在している。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】図10に示されている構造の装置では、再生ヘッドの分解能を決定する磁気シールド間には、絶縁膜117、TMR膜及び上下電極膜118からなるTMR素子119が存在するため、TMR素子と上下の磁気シールドとの十分な絶縁を保ちながらシールド間隔を狭くすることが必要である。しかしながら、絶縁膜の薄膜化は非常に困難であり、またTMR素子の厚さ以下にはシールド間隔を狭められないという構造的な限界がある。さらに、狭トラック化に際しては、左右の電極をTMR膜の上下でバタニングし、電極間隔をサブミクロンとすることはフォトレジストを用いたプロセスにとっては非常に困難であった。さらに、TMR素子の微細化によるノイズの増大に対しては何らかのバイアス磁界を印加しなければならない。

【0017】本発明の目的は、以上の従来の技術における欠点を除いて、高線密度化を実現するための分解能化と、高トラック密度化を実現するための狭トラック化とを実現する、高密度記録再生用のTMR素子を用いた記録再生用ヘッドとその製造方法とを提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明の磁気抵抗効果型複合ヘッド装置は、スライダ上に順次に積層された第1及び第2の磁気シールドと、該双方の磁気シールドの間に配設された磁気抵抗効果素子(以下、MR素子と呼ぶ)とを有する再生ヘッドと、前記第2の磁気シールド

を第1の磁極膜とし、該第1の磁極膜と磁気ギャップを挟んで対向する第2の磁極膜を有し、前記再生ヘッドに隣接して配設された記録ヘッドとを備える磁気抵抗効果型複合ヘッドにおいて、前記MR素子が、前記第1及び第2の磁気シールドを電極とし該第1及び第2の磁気シールドの面間にはほぼ垂直方向に流れる電流によって磁気抵抗効果を生ずる第1の強磁性層及び第2の強磁性層と、該第1及び第2の強磁性層の間に配設されたトンネルバリア層とを有する強磁性トンネル接合磁気抵抗効果膜（以下、TMR膜と記す）から成る中央領域と、前記中央領域を両側から挟み込むように配設され、該中央領域にバイアス磁界を供給する端部領域とから構成されることを特徴とする。

【0019】また、本発明の磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造方法は、第1の視点において、スライダ上に第1の磁気シールドを形成する工程と、強磁性トンネル接合磁気抵抗効果（以下、TMRと呼ぶ）膜からなる中央領域と該TMR膜にバイアス磁界を印加する端部領域とを有するTMR素子を形成する工程と、前記TMR素子を覆い、かつ、中央領域上で再生トラック幅を決定するパターンニングがなされた絶縁膜を形成する工程と、第2の磁気シールドを形成する工程とを含む、磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造方法であって、前記TMR素子を形成する工程が、前記TMR膜を成膜する工程と、該TMR膜上にフォトリソマスクを形成する工程と、該フォトリソマスクによって前記TMR膜をパターンニングする工程と、前記端部領域を前記フォトリソマスクによってリフトオフする工程とを含むことを特徴とする。

【0020】本発明の磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造方法は、第2の視点において、スライダ上に第1の磁気シールドを形成する工程と、強磁性トンネル接合磁気抵抗効果（以下、TMRと呼ぶ）膜からなる中央領域と該TMR膜にバイアス磁界を印加する端部領域とを有するTMR素子を形成する工程と、第2の磁気シールドを形成する工程とを含む、磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造方法であって、前記TMR素子を形成する工程が、TMR膜を成膜する工程と、該TMR膜上にフォトリソマスクを形成する工程と、該フォトリソマスクによって前記TMR膜をパターンニングする工程と、端部領域を前記フォトリソマスクによってリフトオフする工程とを有することを特徴とする。

【0021】

【発明の実施の形態】図面を参照して本発明をさらに詳細に説明する。

#### 【0022】実施形態例1

図1は、本発明の第1の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドを、その媒体と対向する面（エアベアリング面。以下、ABS面と略す）から見た積層構造図である。本ヘッドは、スライダ上に順次に積層された2層の

対向する磁気シールドS1（101）及びS2（111）と、この2層の対向する磁気シールドS1及びS2間に配設されたTMR素子とから成る再生機能を有するヘッドを有する。更に、一方の磁気シールドS2を一方の磁極膜P1と兼用し、この磁極膜P1の磁気抵抗効果素子と反対側に、絶縁体で挟まれたコイルともう一方の磁極P2（113）とが積層され、双方の磁極P1及びP2間に設けられた磁気ギャップ112に発生する磁界による記録機能を有するヘッドを有する。

【0023】上記複合素子は以下のように得られる。まず、下シールドS1側から順次に、30nm厚のTa膜102、10nm厚のNi-Fe膜からなる第1の強磁性層103、及び2nm厚のAl膜からなる導電層を連続してスパッタ蒸着する。その後、Al導電層表面を酸化してトンネルバリア層104を形成する。その後、Co-Fe膜からなる第2の強磁性層105、及び、20nm厚のNi-Mn膜からなる反強磁性膜106をスパッタ蒸着し、TMR膜を完成させた。TMR膜の積層後に、スパッタ蒸着によりアルミナからなる非磁性絶縁層107、CoCrPtからなる永久磁石層108、及び、Taからなる非磁性層109を形成する。この構成によると、TMR膜をボタン化した際の端面が非磁性絶縁層で被覆された後に、永久磁石層が形成される。よって、TMR膜のトンネルバリア層を介して向き合う2層の磁性層どうしが電気的に短絡することなく、TMR特性が良好に保たれる。さらに、絶縁層110をスパッタ蒸着し、上シールド111として膜厚3μmのNi-Fe膜をフレームめっき法でボタン形成し、アルミナによる磁気ギャップ112形成し、次いで、フレームめっき法によりCuコイルを形成し、さらに記録用の上磁極113として4μmのNi-Fe膜をフレームめっき法にて形成する。

【0024】TMR素子は、磁気シールドS1およびS2を電極とし、磁気シールドS1およびS2の面間にはほぼ垂直方向に流れる電流によって磁気抵抗効果を生ずる第1の強磁性層と第2の強磁性層との間にトンネルバリア層を挟んだ構造を持つ強磁性TMR膜からなる中央領域と、この中央領域を左右から挟み込むようにして積層する、バイアス磁界を供給する端部領域とから構成されている。

【0025】上記構造を採用したことにより、TMR素子にバイアス磁界を印加することが出来るので、高い分解能を有し、高トラック密度、狭トラック化を実現できる。

【0026】以下に、本実施形態例のヘッドの製造プロセスを更に詳細に説明する。スライダを構成するAl、O<sub>2</sub>-TiC複合セラミックからなるウエハ基体上に、スパッタ法により膜厚1μmのCoTaZr膜を形成し、下シールドS1（101）としてボタン化した。このCoTaZr膜の形成時には図1左右方向に一方性の磁

界を印加した。この後、この磁気異方性方向に500Oeの一方向磁界を印加しつつ350℃で1時間の初期熱処理を行った。次にスパッタ法により中央領域となるTMR膜を形成した。TMR膜としては、まず下シールドS1側から順に、30nm厚のTa膜(102)、10nm厚のNi-Fe膜からなる第1の強磁性層(103)、及び、2nm厚のAl膜からなる導電層を連続してスパッタ蒸着した。この成膜には4インチ直径のターゲット4基を備えた高周波マグネトロンスパッタ装置を用いた。スパッタ条件はすべてバックグランド圧力 $1 \times 10^{-7}$ Torr以下、Ar圧力10mTorr、高周波電力200Wとした。次に、スパッタ装置内に純酸素を導入し、酸素圧力を20mTorr〜200Torrの範囲で10分間保持して、Al導電層表面を酸化してトンネルバリア層(104)を形成した。酸素を排気してバックグランド圧力に到達した後、20nm厚のCo-Fe膜からなる第2の強磁性層(105)、及び、20nm厚のNi-Mn膜からなる反強磁性膜をスパッタ蒸着し、TMR膜を完成させた。

【0027】その後、第2の強磁性層105と反強磁性層106との間に交換結合磁界を発生させ、第2の強磁性層105の磁化を図1のABS面に対して垂直方向に固定するために、ABS面に対して垂直方向に3kOeの一方向磁界を印加しつつ270℃で5時間の熱処理を行った。この磁界の方向は先の下シールドを熱処理した時の磁界の方向とは直交している。しかしながら、下シールドであるCoTaZr膜は予め350℃で熱処理されているため、この熱処理を行っても、その磁化容易軸方向は変化することなく、異方性磁界Hkとしては8Oeと磁気シールドとしては十分な大きさを保っていた。次に、TMR膜をボタン化して形成する中央領域とその両端の端部領域を形成した。

#### 【0028】実施形態例2

図2は、本発明の第2の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッド装置を、そのABS面から見た積層構造図である。TMR膜は、下地層102、反強磁性層106、第1の強磁性層105、トンネルバリア層104、第2の強磁性層103、非磁性導電層114から構成される。第2の実施形態例は、TMR膜の構造が第1の実施形態例とは異なる。TMR膜としては、まず下シールドS1側から順に、30nm厚のTa膜102、20nm厚のPt-Mn膜からなる反強磁性膜106、20nm厚のCo膜からなる第1の磁性層105、及び、2nm厚のAl膜からなる導電層を連続してスパッタ蒸着した。Al導電層表面を酸化してトンネルバリア層104の形成に使用したスパッタ装置、スパッタ条件は実施形態例1と同様である。酸素を排気してバックグランド圧力に到達した後、10nm厚のNi-Fe-Co膜からなる第2の強磁性層103、及び、膜厚30nmのTaからなる非磁性導電層114を連続してスパッタ蒸着しTMR膜を完成させた。この後の、第2の強磁性層114の磁化を図2の

ABS面に対して垂直方向に固定するための工程及び条件は実施形態例1と同様である。TMR膜の構成以外は実施形態例1と同様であり、実施形態例1と同様の効果を実現できる。

#### 【0029】実施形態例3

図3は、本発明の第3の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッド装置を、そのABS面から見た積層構造図である。TMR膜は、下地層102、第1の強磁性層103、トンネルバリア層104、第2の強磁性層105、及び、反磁性導電層106からなる構成を有する。第3の本実施形態例は、TMR膜と上シールド111との接合部がABS面に露出しないことにおいて第1の実施形態例と異なる。これは、絶縁膜110をリフトオフする際のTMR膜のトラック幅を決定するマスクを、ABS面に対してTMR膜端面が奥に位置するように設計するだけで良い。このTMR膜端面のABSからの距離は0.1μmから1μmである。TMR膜の構成以外は実施形態例1と同様であり、実施形態例1と同様の効果を実現できる。

【0030】上記第1〜第3の実施形態例のそれぞれのTMR素子をウェハから切り出し、磁気ディスク用のスライダ形状に加工しジンバルバネ付きのアームに組み込み、記録再生評価を行った。このとき、永久磁石を3kOeの磁界によって着磁した。本試作における磁気抵抗変化率は約15%であった。磁気抵抗変化率は電流密度を増加させても $10^3$ A/cm<sup>2</sup>までは全く変化が認めなかった。 $5 \times 10^3$ A/cm<sup>2</sup>でも抵抗値の変化はほとんど無く、磁気抵抗変化率も約10%の減少に止まっていた。TMRヘッドの信号出力電圧としては、実施形態例1及び2共に $10^3$ A/cm<sup>2</sup>の電流密度で約1mVであり、 $5 \times 10^3$ A/cm<sup>2</sup>で第1及び第2実施形態例では約3mV、第3の実施形態例では約2mVであった。第1及び第2の実施形態例共に、これら素子を再生磁気ヘッドに用いた場合に、前者は3Gb/in<sup>2</sup>以上の記録密度に、後者は30Gb/in<sup>2</sup>以上の記録密度に各々対応できることになる。第3の実施形態例では、ABS面に対してTMR膜と上シールド111との接合部が奥に位置する構造となっているために、ABS面と媒体表面とが接触した場合にも、接触による発熱に起因するノイズのない安定な動作が実現した。

#### 【0031】実施形態例4

図4は、上記第1の一実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドのTMR膜の製造工程を示す。スライダを構成するAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiC複合セラミックからなるウェハ基体上に、スパッタ法により膜厚1μmのFeTa<sub>2</sub>N膜を形成し、下シールドS1としてボタン化し、(図4(a))、熱処理を500℃で1時間真空中で行った。この際に、図4の左右方向に一方向性の磁界を印加した。

【0032】次にスパッタ法により中央領域となるTMR膜を形成した(図4(b))。TMR膜としては、ま

ず下シールドS1側から順に、30nm厚のTa膜102、10nm厚のNi-Fe膜からなる第1の強磁性層103、及び、2nm厚のAl膜からなる導電層を連続してスパッタ蒸着した。この成膜には4インチ直径のターゲット4基を備えた高周波マグネトロンスパッタ装置を用いた。スパッタ条件はすべてバックグランド圧力 $1 \times 10^{-7}$ Torr以下、Ar圧力10mTorr、高周波電力200Wであった。次に、スパッタ装置内に純酸素を導入し、酸素圧力を20mTorr~200Torrの範囲で10分間保持して、Al導電層表面を酸化してトンネルバリア層104を形成した。酸素を排気してバックグランド圧力に到達した後、20nm厚のCo-Fe膜からなる第2の強磁性層105、20nm厚のNi-Mn膜からなる反強磁性膜をスパッタ蒸着し、TMR膜を完成させた

【0033】TMR膜をボタン化し中央領域を形成し、その両端の端部領域となる絶縁膜/永久磁石膜(PM)/非磁性膜を成膜しリフトオフする工程(図4(c))、中央領域と端部領域からなる素子をボタン化する工程(図4(d))、TMR膜のトラック幅を規定する絶縁膜をリフトオフする工程(図4(e))、(図4(f))を実施した。

【0034】図8は、TMR膜の積層後に行うTMR膜のボタン化工程を示す。図4の方法でTMR膜101を形成し(図8(a))、フォトレジストマスク1102を形成し(図8(b))、イオンビームを用いてボタンニングした(図8(c))。このレジストをそのままにしてスパッタ蒸着により、アルミナからなる非磁性絶縁層1104、CoCrPtからなる永久磁石層1105、及び、Taからなる非磁性層1106を形成し(図8(d))、リフトオフした(図8(e))。この方法によると、TMR膜をボタン化した際の端面が非磁性絶縁層で被覆された後に、永久磁石層が形成される。よって、TMR膜のトンネルバリア層を介して向き合う2枚の磁性層同士が電氣的に短絡することなく、TMR特性が良好に保たれる。さらに、前記のフォトレジストマスク1102に対して同等もしくは幅狭のフォトレジストマスク1107を形成し(図8(f))、絶縁層1108をスパッタ成膜し(図8(g))、リフトオフして完成した(図8(h))。その後、下シールドの一部を電極として取り出すために絶縁膜に穴を開け(図4(g))、さらに上シールドとして膜厚3 $\mu$ mのNi-Fe膜をフレイムめっき法でボタン形成した(図4(h))。

【0035】その後、アルミナによる磁気ギャップ形成後、記録磁界発生用コイルを形成した。このコイルはフォトレジストにより上下を挟まれて絶縁したが、まず、下側の絶縁体となるフォトレジストボタンを前記のアルミナ磁気ギャップ上に形成し、これを260℃で1時間熱硬化した。次にフレイムメッキ法によりCuコイルを形成し、上側の絶縁体となるフォトレジストボタンを形

成した。この熱硬化の際にも260℃で1時間熱処理した。更に、記録ヘッドの上磁極を構成する膜厚4 $\mu$ mのNi-Fe膜をフレイムメッキ法で形成した。上磁極を形成後に、磁気シールドの磁化容易軸方向に磁界を1kOe印加し、200℃で1時間熱処理した。これにより上磁極の磁気異方性が安定化した。次に再生部や記録部の電極の引き回しボタンを形成した後、素子全体をアルミナスパッタ膜により保護した。この後に、再度、反強磁性層およびこれと接する強磁性層の磁化を揃えるために、ABS面に垂直方向に3kOeの一方方向磁界を印加しつつ250℃で1時間の熱処理を行った。

【0036】図11の従来技術の製造方法によっても第1の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドのTMR膜の形成は可能である。本実施形態例によれば、図11の下地層10としてTa、第1の強磁性層11としてNi-Fe、導電層12としてAl膜を形成し(図11(a))、真空中にて純酸素を導入し、導電層12の表面を自然酸化してトンネルバリア層13を形成する(図11(b))。次いで、第2の強磁性層14としてCo-Feを成膜し(図11(c))、反強磁性層15としてNi-Mnを成膜して(図11(d))、TMR素子の基本構造を完成させる。その他の製造装置、工程の順序、処理条件等については従来技術と同様に行われる。この方法では、不純物ガスの影響を受けない清浄な雰囲気中熱平衡状態を保ったまま酸化層の成長が可能であるため、高品質のトンネルバリア層を制御性よく形成することができる。また、酸素圧力や基板温度の制御によって必要な低抵抗値及び高電流密度の素子を得ることができる。さらに、ウェーハ内の素子特性の均一性やロット間の再現性に優れた素子が得られる。

【0037】図12の従来技術の製造方法によっても第1の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッド装置のTMR膜の形成は可能である。図12の下地層10としてTa、第1の強磁性層11としてNi-Feを成膜後(図12(a))、真空中に酸素を導入してこの表面に酸化層21を形成する工程(図12(b))を加える。次の工程で導電層としてAl膜12を成膜する際に、第1の強磁性層11から導電層12に酸素拡散が起こり、導電層12側にも酸化層23が形成される(図12(c))。導電層12を成膜後、真空を維持しつつ純酸素を導入すると、導電層12の表面の自然酸化層に、裏面からの酸素拡散で酸化された層を加えたトンネルバリア層24が形成される(図12(d))。この方法では、強磁性層に接する両方の界面に導電層12の酸化層24が形成されるため、より熱安定性に優れた素子が実現される。酸素を排気した後に、第2の強磁性層14としてCo-Feを成膜し(図12(e))、反強磁性層15としてNi-Mnを成膜して、TMR素子の基本構造を完成させる(図12(f))。この方法で形成したTMR膜においても、上記と同様の結果が得られる。

【0038】以上の素子をウェハから切り出し、磁気ディスク用のスライダ形状に加工しジンバルバネ付きのアームに組み込み、記録再生評価を行った結果、第1～第3の実施形態例で述べた結果を得た。

#### 【0039】実施形態例5

図5は、本発明の第5の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッド装置を、そのABS面から見た積層構造を示す。実施形態例1との違いは、非磁性層109と上シールド兼電極111との間に、絶縁層110を有しないことである。

【0040】上記の磁気抵抗効果型複合ヘッド装置の構造を以下の製造プロセスによって作製した。スライダを構成する $Al_2O_3-TiC$ 複合セラミックからなるウェハ基体上に、スパッタ法により膜厚1 $\mu m$ の $CoMoZr$ 膜を形成し、下シールドS1(101)としてバタン化した。この $CoMoZr$ 膜の形成時には、図5の左右方向に一方性の磁界を印加した。この後に、この磁気異方性方向に500Oeの一方性磁界を印加しつつ350℃で1時間の初期熱処理を行った。

【0041】次に、スパッタ法により中央領域となるTMR膜を形成した。TMR膜としては、まず下シールドS1側から順に、30nm厚のTa膜102、10nm厚の $Ni-Fe$ 膜からなる第1の強磁性層103、2nm厚のAl膜からなる導電層を連続してスパッタ蒸着した。この成膜には4インチ直径のターゲット4基を備えた高周波マグネトロンスパッタ装置を用いた。スパッタ条件はすべてバックグランド圧力 $1 \times 10^{-7}$ Torr以下、Ar圧力10mTorr、高周波電力200Wであった。次に、スパッタ装置内に純酸素を導入し、酸素圧力を20mTorr～200Torrの範囲で10分間保持して、Al導電層表面を酸化してトンネルバリア層104を形成した。酸素を排気してバックグランド圧力に到達した後、20nm厚の $Co-Fe$ 膜からなる第2の強磁性層105、及び、20nm厚の $Ni-Mn$ 膜からなる反強磁性膜106をスパッタ蒸着し、TMR膜を完成させた。

【0042】この後、第2の強磁性層105と反強磁性層106との間に交換結合磁界を発生させ、第2の強磁性層105の磁化を図5のABS面に対して垂直方向に固定するために、ABS面に対して垂直方向に3kOeの一方性磁界を印加しつつ270℃で5時間の熱処理を行った。この磁界の方向は先に下シールドを熱処理した時の磁界の方向とは直交している。しかしながら、下シールドである $CoMoZr$ 膜は予め350℃で熱処理されているため、この熱処理を行っても、その磁化容易軸方向は変化することなく、異方性磁界 $H_k$ としては8Oeと磁気シールドとしては十分な大きさを保っていた。次に、TMR膜をバタン化して形成する中央領域とその両端の端部領域を形成するために、アルミナからなる非磁性絶縁層107、 $CoCrPt$ からなる永久磁石層108、Taからなる非磁性層109、をスパッタ蒸着によ

り形成する。この方法によると、TMR膜をバタン化した際の端面が非磁性絶縁層で被服された後に、永久磁石が形成される。従って、TMR膜のトンネルバリア層を介して向き合う2層の磁性層どうしが電氣的に短絡することなく、TMR特性が良好に保たれる。

【0043】さらに図5を参照して、この後の工程を説明する。フレームメッキ法により、上シールド111を構成する膜厚3 $\mu m$ の $Ni-Fe$ 膜を形成し、アルミナによる磁気ギャップ112形成後、記録磁界発生用コイルを形成した。このコイルをフォトレジストによって上下を挟んで絶縁した。その際、まず、下側の絶縁体となるフォトレジストバタンを前記のアルミナ磁気ギャップ上に形成し、これを260℃で1時間熱硬化した。次にフレームメッキ法によりCuコイルを形成し、上側の絶縁体となるフォトレジストバタンを形成した。この熱硬化の際にも260℃で1時間熱処理した。

【0044】次に、記録ヘッドの上磁極113を構成する膜厚4 $\mu m$ の $Ni-Fe$ 膜をフレームメッキ法で形成した。上磁極を形成後に、磁気シールドの磁化容易軸方向に磁界を1kOe印加し、200℃で1時間熱処理した。これにより上磁極の磁気異方性が安定化した。再生部や記録部の電極の引き回しバタンを形成した後、素子全体をアルミナスパッタ膜により保護した。この後に、再度、反強磁性層106およびこれと接する強磁性層105の磁化を揃えるために、ABS面に垂直方向に3kOeの一方性磁界を印加しつつ250℃で1時間の熱処理を行った。

#### 【0045】実施形態例6

図6は、本発明の第6の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドをABS面から見た積層構造図で、実施形態例2との違いは、非磁性層109と上シールド兼電極111との間に絶縁層110を有しないことである。すなわち、TMR膜としては、まず下シールドS1側から順に、30nm厚のTa膜102、20nm厚の $Pt-Mn$ 膜からなる反強磁性膜106、20nm厚のCo膜からなる第2の磁性層105、及び、2nm厚のAl膜からなる導電層を連続してスパッタ蒸着した。第5の実施形態例と同様のスパッタ装置、条件でAl導電層表面を酸化してトンネルバリア層104を形成した。酸素を排気してバックグランド圧力に到達した後、10nm厚の $Ni-Fe-Co$ 膜からなる第1の強磁性層103、膜厚30nmのTaからなる非磁性導電層114を連続してスパッタ蒸着した。この後、第2の強磁性層105と反強磁性層106との間に交換結合磁界を発生させ、第2の強磁性層105の磁化を図2のABS面に対して垂直方向に固定するために、ABS面に対して垂直方向に3kOeの一方性磁界を印加しつつ270℃で5時間の熱処理を行った。この磁界の方向は先に下シールドを熱処理した時の磁界の方向とは直交している。

【0046】上記第5及び第6の実施形態例のそれぞれ

のTMR素子をウエハから切り出し、磁気ディスク用のスライダ形状に加工し、ジンバルバネ付きのアームに組み込み、記録再生評価を行った。このとき、永久磁石を3 kOeの磁界によって着磁した。本試作における磁気抵抗変化率は約15%であった。磁気抵抗変化率は電流密度を増加させても10<sup>3</sup> A/cm<sup>2</sup>までは全く変化が認められなかった。5×10<sup>3</sup> A/cm<sup>2</sup>でも抵抗値の変化はほとんど無く、磁気抵抗変化率も約10%の減少に止まっていた。TMRヘッドの信号出力電圧としては、10<sup>3</sup> A/cm<sup>2</sup>の電流密度で約1 mV、5×10<sup>3</sup> A/cm<sup>2</sup>で約3 mVであった。この素子を再生磁気ヘッドに用いた場合、前者は3 Gb/in<sup>2</sup>以上の記録密度に、後者30 Gb/in<sup>2</sup>以上の記録密度に各々対応できることになる。

#### 【0047】実施形態例7

図7を参照して、本発明の第7の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造方法を説明する。スライダを構成するAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiC複合セラミックからなるウエハ基体上に、スパッタ法により膜厚1 μmのFeZrN膜を形成し、下シールドS1としてパターン化した(図7(a))。このFeZrN膜の熱処理を500℃で1時間、真空中で行ったが、この際に図7の左右方向に一方向性の磁界を印加した。

【0048】次にスパッタ法により中央領域となるTMR膜を形成した(図7(b))。TMR膜としては、まず下シールドS1側から順に、30 nm厚のTa膜102、10 nm厚のNi-Fe膜からなる第1の強磁性層103、及び、2 nm厚のAl膜からなる導電層を連続してスパッタ蒸着した。この成膜には4インチ直径のターゲット4基を備えた高周波マグネトロンスパッタ装置を用いた。スパッタ条件はすべてバックグランド圧力1×10<sup>-7</sup> Torr以下、Ar圧力10 mTorr、高周波電力200 Wであった。次に、スパッタ装置内に純酸素を導入し、酸素圧力を20 mTorr〜200 Torrの範囲で10分間保持して、Al導電層表面を酸化してトンネルバリア層104を形成した。酸素を排気してバックグランド圧力に到達した後、20 nm厚のCo-F膜からなる第2の強磁性層105、20 nm厚のNi-Mn膜からなる反強磁性膜をスパッタ蒸着し、TMR膜を完成させた。

【0049】次に、TMR膜をパターン化し中央領域を形成し、その両端の端部領域となる絶縁膜/永久磁石膜(PM)/非磁性膜を成膜しリフトオフする工程(図7(c))、中央領域と端部領域からなる素子をパターン化する工程(図7(d))を実施した。

【0050】図9は、第5及び第6の実施形態例で述べたTMR膜の積層後に行われる、TMR膜のパターン化工程を示す。前記の方法でTMR膜1101を形成し(図9(a))、フォトリソマスク1102を形成し(図9(b))、イオンビームを用いてパタニングした(図9(c))。このレジストをそのままにしてスパッタ蒸着により、アルミナからなる非磁性絶縁層110

4、CoCrPtからなる永久磁石層1105、及び、Taからなる非磁性層1106を形成し(図9(d))、リフトオフした(図9(e))。この方法によると、TMR膜をパターン化した際の端面が非磁性絶縁層で被覆された後に、永久磁石層が形成される。よって、TMR膜のトンネルバリア層を介して向き合う2枚の磁性層同士が電氣的に短絡することなく、TMR特性が良好に保たれる。その後、下シールドの一部を電極として取り出すための絶縁膜に穴を開ける工程(図7(g))、さらに上シールドとして膜厚3 μmのNi-Fe膜をフレームめっき法でパターン形成した(図7(h))。

【0051】この後、アルミナによる磁気ギャップ形成後、記録磁界発生用コイルを形成した。このコイルはフォトリソにより上下を挟まれて絶縁したが、まず、下側の絶縁体となるフォトリソパターンを前記のアルミナ磁気ギャップ上に形成し、これを260℃で1時間熱硬化した。次にフレームめっき法によりCuコイルを形成し、上側の絶縁体となるフォトリソパターンを形成した。この熱硬化の際にも260℃で1時間熱処理した。更に、記録の上磁極を構成する膜厚4 μmのNi-Fe膜をフレームめっき法で形成した。上磁極を形成後、磁気シールドの磁化容易軸方向に磁界を1 kOe印加し、200℃で1時間熱処理した。これにより上磁極の磁気異性が安定化した。

【0052】次に再生ヘッドや記録ヘッドの電極の引き回しパターンを形成した後、素子全体をアルミナスパッタ膜により保護した。この後に、再度、反強磁性層およびこれと接する強磁性層の磁化を揃えるために、ABS面に垂直方向に3 kOeの一方向磁界を印加しつつ250℃で1時間の熱処理を行った。

【0053】TMR膜の形成を図12に示した従来の方法を用いて行うことができる。同図において、Taによる下地層10上に、Ni-Feからなる第1の強磁性層11を成膜後(図12(a))、真空中に酸素を導入してこの表面に酸化層21を形成する工程(図12(b))を加えると、次の工程でAl膜からなる導電層12を成膜する際に、第1の強磁性層11から導電層12に酸素拡散が起こり、導電層12側にも酸化層23が形成される(図12(c))。導電層12を成膜後、真空を維持しつつ純酸素を導入すると、導電層12の表面の自然酸化層に、裏面からの酸素拡散で酸化された層を加えたトンネルバリア層24が形成される(図12(d))。この方法では、強磁性層に接する両方の界面に導電層12の酸化層24が形成されるため、より熱安定性に優れた素子を実現される。酸素を排気した後、Co-F膜からなる第2の強磁性層14を成膜し(図12(e))、Ni-Mnからなる反強磁性層15を成膜して、TMR素子の基本構造を完成させる(図12(f))。この方法で形成したTMR膜においても、上

記と同様の結果が得られる。

【0054】以上のTMR膜を用いた素子をウエハから切り出し、磁気ディスク用のスライダ形状に加工しシンバルバネ付きのアームに組み込み、記録再生評価を行ったところ第5及び第6の実施形態例で得た結果となった。

【0055】第1～第7の実施形態例の各々の中で引例した各積層の組成については、第1の強磁性層は、Ni-Fe膜に限定されず、Fe、Co、Niの元素を含む合金であれば同様の結果が得られた。

【0056】また、第2の強磁性層は、Co-Fe膜に限定されず、Fe、Co、Niまたはそれらの元素を含む合金であれば同様の結果が得られる。

【0057】また、反強磁性膜は、Ni-Mnに限定されず、Mn-X(XはCr、Fe、Co、Ni、Tc、Ru、Rh、Pd、Re、Os、Ir、Ptから選択される少なくとも1種類の元素を含む)を主成分とする合金であれば同様の結果が得られる。

【0058】また、TMR膜の下地膜は、Taに限定されず、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Siから選択される少なくとも1種類の元素を主成分とするならば、同様の結果が得られる。

【0059】また、磁気シールドは、CoTaZr膜に限定されず、Fe、Co、Niを主成分とする軟磁性合金、あるいは、Co-M(MはTi、V、Cr、Fe、Ni、Cu、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Si、Alから選択される少なくとも1種類の元素)を主成分とする非晶質軟磁性合金、あるいは、T-A-B(TはFe、Co、Niから選択される少なくとも1種類の元素、AはTi、V、Cr、Cu、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Si、Alから選択される少なくとも1種類の元素、BはB、C、N、Oから選択される少なくとも1種類の元素)を主成分とする軟磁性合金、あるいは、Fe-Si-Alを主成分とする軟磁性合金であれば、同様の結果が得られる。

【0060】

【発明の効果】本発明によれば、ヘッド材料として好ましい抵抗値を有するTMR膜素子を有し、高密度磁気記録再生に好適な磁気抵抗効果型複合ヘッドを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドの積層構成図。

【図2】本発明の第2の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドの積層構成図。

【図3】本発明の第3の実施形態例の磁気抵抗効果型複

合ヘッドの積層構成図。

【図4】本発明の第4の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造工程図。(a)は下シールド形成、

(b)は下地/TMR成膜、(c)はTMRバタン化(絶縁/PM/非磁性絶縁膜成膜)、(d)は素子バタン化(絶縁膜は残す)、(e)は絶縁膜リフトオフ用レジストバタン成形、(f)は絶縁膜リフトオフ、(g)は絶縁膜穴開け、(h)は上シールド形成を示す。

【図5】本発明の第5の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドの積層構成図。

【図6】本発明の第6の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドの積層構成図。

【図7】本発明の第7の実施形態の磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造工程図。(a)は下シールド形成、(b)は下地/TMR成膜、(c)はTMRバタン化(絶縁/PM/非磁性絶縁膜成膜)、(d)は素子バタン化(絶縁膜は残す)、(g)は絶縁膜穴開け、(h)は上シールド形成を示す。

【図8】本発明の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造工程図。

【図9】本発明の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造工程図。

【図10】従来の強磁性トンネル接合素子を用いた磁気抵抗効果型複合ヘッドの積層構成図。

【図11】従来の強磁性トンネル接合膜の磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造工程図。

【図12】従来の強磁性トンネル接合膜の磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造工程図。

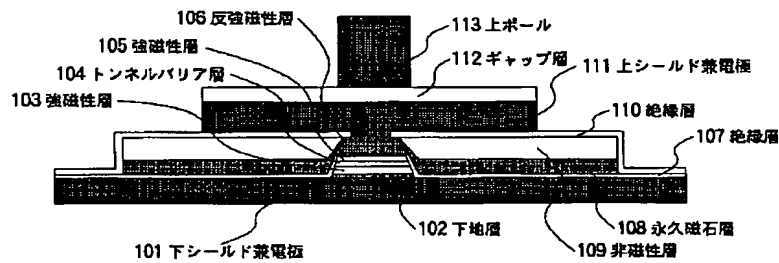
【符号の説明】

- 10 下地層
- 11 第1の強磁性層
- 12 導電層
- 13 純酸素の自然酸化により形成したトンネルバリア層
- 14 第2の強磁性層
- 15 反強磁性層
- 21 第1の強磁性層の表面酸化層
- 22 第1の強磁性層の還元領域
- 23 導電層下部表面の酸化層
- 24 純酸素の自然酸化により形成したトンネルバリア層
- 101 下シールド兼電極
- 102 下地層
- 103 強磁性層
- 104 トンネルバリア層
- 105 強磁性層
- 106 反強磁性層
- 107 絶縁層
- 108 永久磁石層
- 109 非磁性層

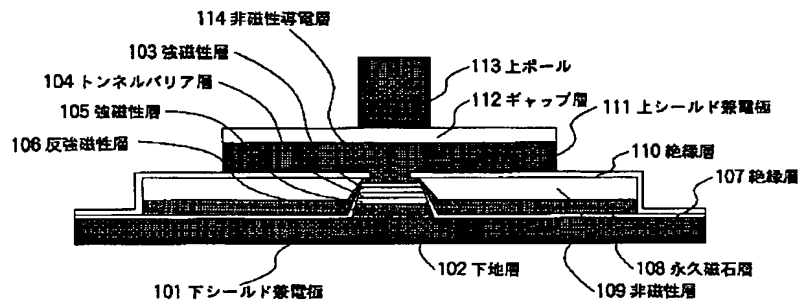
110 絶縁層  
 111 上シールド兼電極  
 112 ギャップ層  
 113 上ポール  
 114 非磁性導電層  
 115 下シールド  
 116 上シールド  
 117 絶縁層  
 118 電極

\* 119 TMR素子  
 1101 TMR膜  
 1102 フォトリソストマスク  
 1103 TMRボタン  
 1104 非磁性絶縁層  
 1105 永久磁石層  
 1106 非磁性層  
 1107 フォトリソストマスク  
 \* 1108 絶縁層

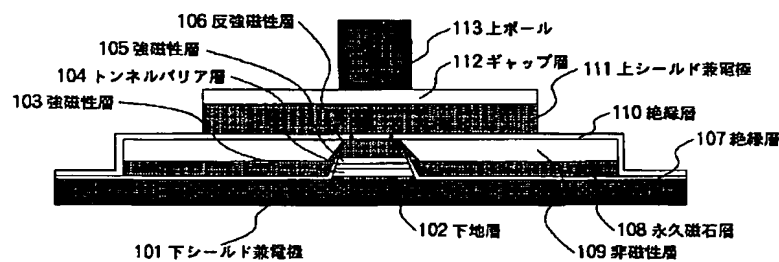
【図1】



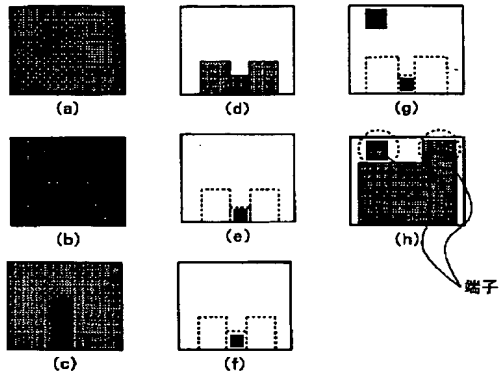
【図2】



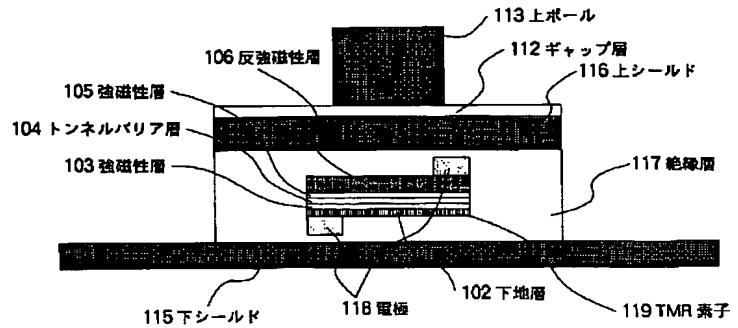
【図3】



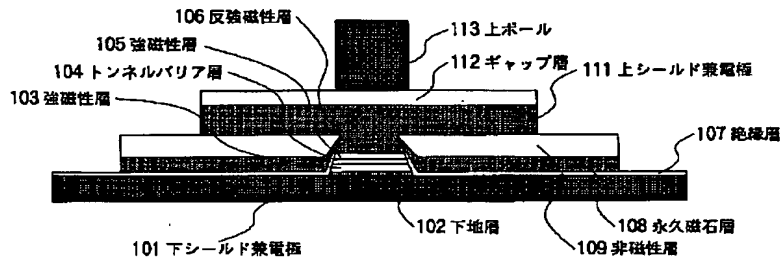
【図4】



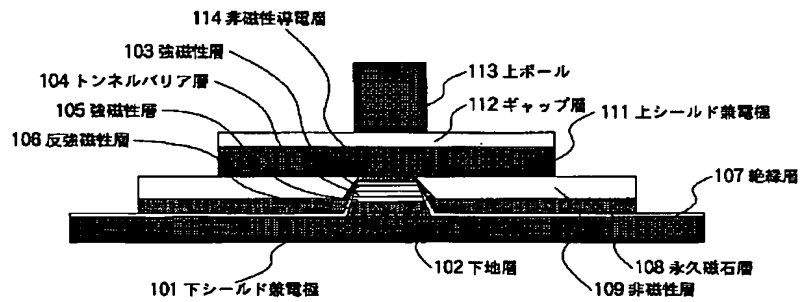
【図10】



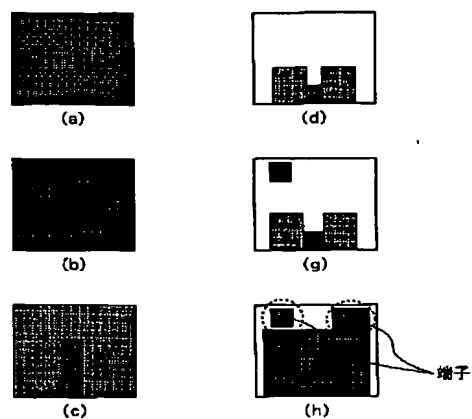
【図5】



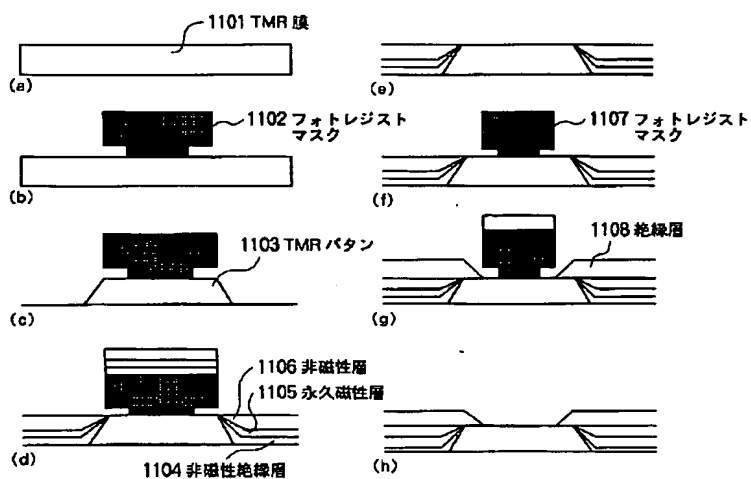
【図6】



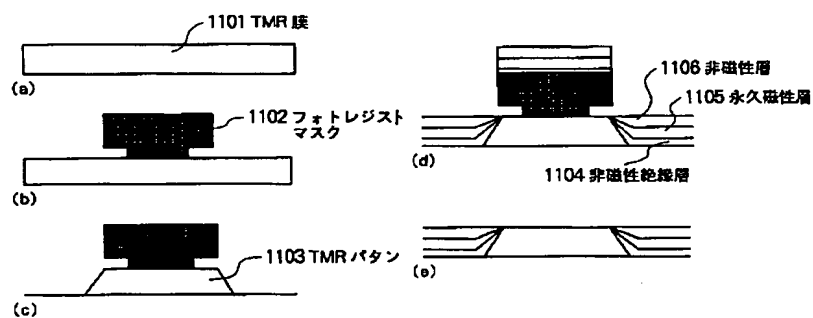
【図7】



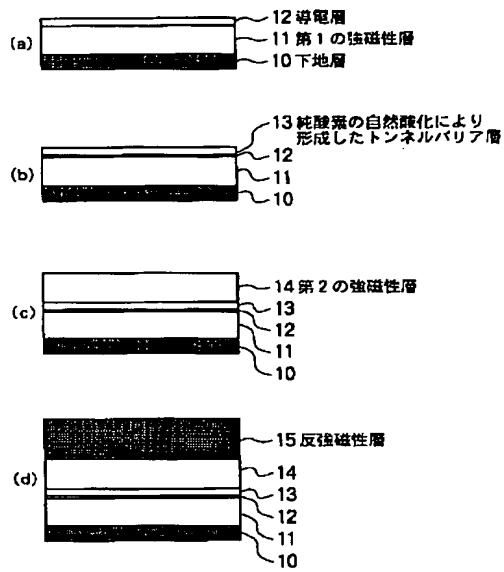
【図8】



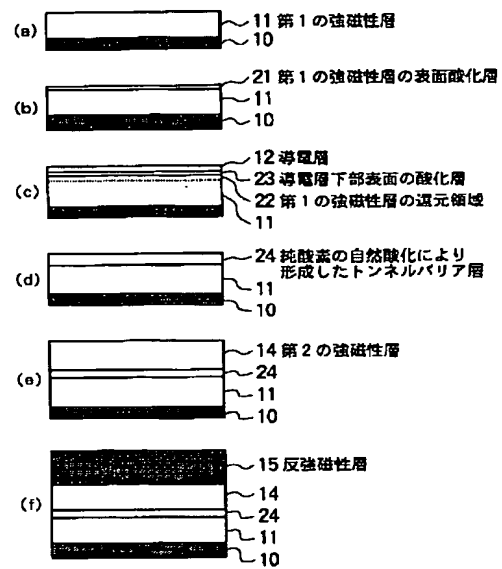
【図9】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 塚本 雄二  
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株  
式会社内

(72)発明者 中田 正文  
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株  
式会社内

(72)発明者 上條 敦  
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株  
式会社内

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-316919

(43)Date of publication of application : 16.11.1999

(51)Int.Cl.

G11B 5/39  
G01R 33/09  
H01L 43/08

(21)Application number : 10-120504

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 30.04.1998

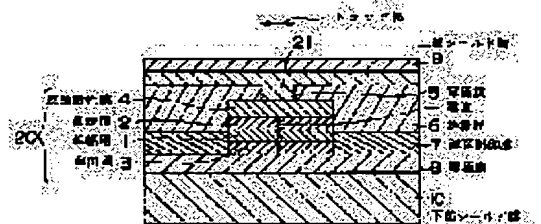
(72)Inventor : KOMURO MATAHIRO  
KAWATO YOSHIKI

## (54) SPIN TUNNEL MAGNETORESISTIVE EFFECT MAGNETIC HEAD

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a practical head structure which is high in the detection efficiency of a resistance variation rate for a reproducing head using spin tunnel magnetoresistive effect (TMR).

**SOLUTION:** This head has a magnetoresistive effect film 20 and a couple of electrode films 5 and 8 holding the magnetoresistive effect film 20 inbetween so as to supply a current along the film thickness of the magnetoresistive effect film 20. The magnetoresistive effect film 20 is formed by sequentially stacking a free layer 3, an insulating layer 1, a fixed layer 2, and an antiferromagnetic layer 4. A couple of magnetic domain control films 7 for applying a bias to the free layer 3 so as to control magnetic domains of the free layer 3 are arranged on both the sides of the magnetoresistive effect film 20. At This time, the magnetic domain control film 7 is arranged at the position which is brought into contact with the fixed layer 2 and then currents flowing from the electrode films 5 and 8 along the film thickness of the magnetoresistive effect film 20 are prevented from leaking through the magnetic domain control film 7.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

08.04.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-316919

(43) 公開日 平成11年(1999)11月16日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 1 1 B 5/39

G 1 1 B 5/39

G 0 1 R 33/09

H 0 1 L 43/08

Z

H 0 1 L 43/08

G 0 1 R 33/06

R

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平10-120504

(22) 出願日 平成10年(1998)4月30日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 小室 又洋

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 川戸 良昭

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

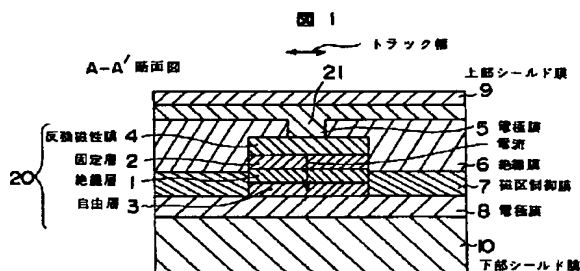
(74) 代理人 弁理士 富田 和子

(54) 【発明の名称】 スピントネル磁気抵抗効果型磁気ヘッド

(57) 【要約】

【課題】スピントネル磁気抵抗効果(TMR)を用いる再生用ヘッドであって、抵抗変化率の検出効率が高く、実用化可能なヘッド構造を提供する。

【解決手段】磁気抵抗効果膜20と、磁気抵抗効果膜20の膜厚方向に電流を流すために、磁気抵抗効果膜20を挟む一対の電極膜5、8とを有する。磁気抵抗効果膜20は、順に重ねられた、自由層3と、絶縁層1と、固定層2と、反強磁性層4とを備える。また、磁気抵抗効果膜20の両脇には、自由層3の磁区を制御するために、自由層3にバイアスをかける一対の磁区制御膜7を配置する。このとき、磁区制御膜7を、固定層2と接触しない位置に配置することにより、電極膜5、8から磁気抵抗効果膜20の膜厚方向に流れる電流が、磁区制御膜7を通してリークすることを防止する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】磁気抵抗効果膜と、前記磁気抵抗効果膜の膜厚方向に電流を流すために、前記磁気抵抗効果膜を挟む一対の電極膜とを有し、

前記磁気抵抗効果膜は、順に重ねられた、強磁性層を含む自由層と、絶縁層と、強磁性層を含む固定層と、前記固定層の磁化を固定する反強磁性層とを備え、

前記磁気抵抗効果膜の両脇には、前記自由層の磁区を制御するために、前記自由層にバイアスをかける一対の磁区制御膜が配置され、

前記磁区制御膜は、前記固定層と接触しない位置に配置されていることを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッド。

【請求項2】請求項1に記載のスピントンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッドにおいて、前記一対の電極膜の少なくとも一方と前記磁気抵抗効果膜との間には、電極用絶縁膜が配置され、前記電極用絶縁膜は貫通孔を有し、前記電極膜は、前記貫通孔部分でのみ前記磁気抵抗効果膜と接触していることを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッド。

【請求項3】請求項1または2に記載のスピントンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッドにおいて、前記磁区制御膜は、膜の側面が、前記自由層の側面と接する位置に配置されていることを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッド。

【請求項4】請求項1または2に記載のスピントンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッドにおいて、前記一対の磁区制御膜は、間隔をあけて配置され、前記自由層は、両端が前記磁区制御膜の上にかぶさるように配置され、この自由層の上に、前記絶縁層、前記固定層および前記反強磁性膜が順に積層されていることを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッド。

【請求項5】請求項3または4に記載のスピントンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッドにおいて、前記固定層の側面は、前記電極用絶縁膜で覆われていることを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッド。

【請求項6】請求項1または2に記載のスピントンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッドにおいて、前記自由層、絶縁層、固定層および反強磁性層の側面は、高比抵抗膜で覆われ、前記高比抵抗膜の外側に前記磁区制御膜が配置されていることを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッド。

【請求項7】請求項1または2に記載のスピントンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッドにおいて、前記一対の電極膜の外側にそれぞれ配置された一対のシールド膜を有し、前記シールド膜の一方は、前記電極膜の一方を兼用していることを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッド。

【請求項8】記録媒体を回転駆動するための回転駆動部と、磁気ヘッドと、前記磁気ヘッドを前記記録媒体上に

支持する支持部と、前記磁気ヘッドの出力信号を処理する信号処理部とを有し、

前記磁気ヘッドは、再生ヘッドとして、スピントンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッドを有し、

前記スピントンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッドは、磁気抵抗効果膜と、前記磁気抵抗効果膜の膜厚方向に電流を流すために、前記磁気抵抗効果膜を挟む一対の電極膜とを有し、

10 前記磁気抵抗効果膜は、順に重ねられた、強磁性層を含む自由層と、絶縁層と、強磁性層を含む固定層と、前記固定層の磁化を固定する反強磁性層とを備え、

前記磁気抵抗効果膜の両脇には、前記自由層の磁区を制御するために、前記自由層にバイアスをかける一対の磁区制御膜が配置され、

前記磁区制御膜は、前記固定層と接触しない位置に配置されていることを特徴とする磁気記録再生装置。

20 【請求項9】請求項8に記載の磁気記録再生装置において、前記一対の電極膜の少なくとも一方と前記磁気抵抗効果膜との間には、電極用絶縁膜が配置され、前記電極用絶縁膜は貫通孔を有し、前記電極膜は、前記貫通孔部分でのみ前記磁気抵抗効果膜と接触していることを特徴とする磁気記録再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電子計算機及び情報処理装置等に用いられる磁気記録再生装置の磁気ヘッドに係り、特に高密度記録を実現する上で好適なスピントンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッドに関する。

【0002】

30 【従来の技術】磁性体記録媒体の主流は、磁気ディスクと磁気テープにある。これらは、A1基板や樹脂製テープ上に磁性薄膜を成膜することにより形成されている。これら記録媒体に磁気情報の書き込みおよび読み出しには、電磁変換作用を利用した磁気ヘッドが用いられる。磁気ヘッドは、磁気情報を記録媒体に書き込むための書き込み部と、記録媒体の磁気情報を読み出す再生部から構成される。書き込み部には、一般的には、コイルとこれを上下に包みかつ磁氣的に結合された磁極から構成されたいわゆる誘導型のヘッドが用いられる。再生部は、40 高記録密度の磁気情報に対応するために、磁気抵抗効果（MR）ヘッドを用いることが近年提案されている。磁気抵抗効果ヘッドのなかでも、近年では、巨大磁気抵抗効果（GMR）を利用するヘッドがよく知られている。また、最近では、特開平10-4227号公報に記載されているように、強磁性トンネル磁気抵抗効果（スピントンネル磁気抵抗効果：TMR）を用いることが提案されている。TMRは、磁気抵抗効果膜の膜厚方向に電流を流すことにより、磁気抵抗効果膜の主平面方向に電流を流すGMR等の従来の磁気抵抗効果よりも、大きな抵抗変化率を得ることができる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、TMRを用いた磁気ヘッドとして実用化可能なものは、未だ開示されていない。

【0004】本発明は、スピントンネル磁気抵抗効果（TMR）を用いる実用化可能な磁気ヘッドの構造を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明によれば、下記のようなスピントンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッドが提供される。

【0006】すなわち、磁気抵抗効果膜と、前記磁気抵抗効果膜の膜厚方向に電流を流すために、前記磁気抵抗効果膜を挟む一対の電極膜とを有し、前記磁気抵抗効果膜は、順に重ねられた、強磁性層を含む自由層と、絶縁層と、強磁性層を含む固定層と、前記固定層の磁化を固定する反強磁性層とを備え、前記磁気抵抗効果膜の両脇には、前記自由層の磁区を制御するために、前記自由層にバイアスをかける一対の磁区制御膜が配置され、前記磁区制御膜は、前記固定層と接触しない位置に配置されていることを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッドである。

【0007】このとき、前記一対の電極膜の少なくとも一方と前記磁気抵抗効果膜との間には、電極用絶縁膜が配置され、前記電極用絶縁膜は貫通孔を有し、前記電極膜は、前記貫通孔部分でのみ前記磁気抵抗効果膜と接触するように構成することが可能である。

【0008】

【発明の実施の形態】本発明の一実施の形態の磁気抵抗効果を用いた記録再生ヘッドについて説明する。

【0009】本実施の形態の記録再生ヘッドは、TMR（スピントンネル磁気抵抗効果）を用いる再生用TMRヘッドと、誘導型の記録用薄膜磁気ヘッドとを備えている。再生用TMRヘッドは、基板上に搭載され、TMRヘッドの上に記録用薄膜磁気ヘッドが搭載される。

【0010】本実施の形態では、再生用TMRヘッドの磁気抵抗効果膜に流れる電流が磁区制御層にリークするのを防ぐ構造とし、磁気抵抗効果膜の抵抗変化率の検出効率を高める。また、磁気抵抗効果膜に接する電極幅を狭めることにより、磁気抵抗効果膜の電流が流れる領域の幅を狭め、トラック幅の狭める。これらにより、より高記録密度の磁気記録媒体に対応可能な再生用TMRヘッドを備えた記録再生ヘッドを提供する。

【0011】まず、第1の実施の形態の記録再生ヘッドの再生用TMRヘッドの構造について図1および図10を用いて具体的に説明する。記録用薄膜磁気ヘッドは、再生用TMRヘッドの上部に重ねて配置される。薄膜磁気ヘッドの構成は、すでによく知られているため、ここでは説明を省略する。

【0012】図10のように、セラミクス基板31上に

は、下部シールド膜10が形成されている。下部シールド膜10の上には、所望の形状にパターンニングされた電極膜8が配置されている。電極膜8上の一部には、4層構造の磁気抵抗効果膜20が配置されている。磁気抵抗効果膜20の両脇にはそれぞれ磁区制御膜7が配置され、磁気抵抗効果膜20と磁区制御膜7の上には、これらを埋め込むように、絶縁膜6が配置されている。絶縁膜6には、磁気抵抗効果膜20の上部に位置する部分に貫通孔21があげられている（図1）。絶縁膜6の上部には、電極膜5が配置され、電極膜5は、貫通孔21部分でのみ磁気抵抗効果膜20に接する。よって、電極膜5から電極膜8に向かって電流を流すと、電流は、電極膜5が磁気抵抗効果膜20に接している部分から磁気抵抗効果膜20を膜厚方向に流れる。したがって、磁気抵抗効果膜20のうち電流が流れる領域の幅は、ほぼ貫通孔21の幅に制限され、この幅がトラック幅となる。なお、電極膜5の上部には、上部シールド膜9（図10では不図示）が配置されている。

【0013】磁気抵抗効果膜20は、強磁性の自由層3と、電気的な絶縁層1と、強磁性の固定層2と、反強磁性層4とを順に積層した4層構造である。自由層3と固定層2は、磁化容易軸方向が平行になるように形成されている。また、固定層2は、反強磁性層4との磁気的交換結合により磁化が一定の方向に固定されている。自由層3の磁化は、この再生用TMRヘッドが磁気記録媒体に対向すると、磁気記録媒体に記録された磁気情報の磁化の方向に応じて回転する。これにより、自由層3の磁化方向は、固定層2の磁化方向と平行または逆平行となる。磁気抵抗効果膜20に電極膜5、8から膜厚方向に電流を流すと、電流は絶縁膜1をトンネルして流れ、スピントンネル磁気抵抗効果（TMR）により、磁気抵抗効果膜20の電気抵抗は、自由層3と固定層2の磁化方向が互いに平行か逆平行かによって変化する。

【0014】磁区制御膜7は、自由層3の磁区の発生を抑制するために、自由層3にバイアス磁界を加える強磁性膜である。このとき、本実施の形態では、磁区制御膜7の上面が、絶縁層1の上面よりも必ず下側（基板31側）に位置するような位置関係とし、固定層2と磁区制御膜7とが互いに接触しないようにする。これは、磁区制御膜7が低比抵抗であるため、もし固定層2と接触していると、電極膜5から電極膜8に流れる電流の一部が、絶縁層1をトンネルせずに、固定層2から磁区制御膜7を通して電極膜8へリークしてしまうためである。図1の構成では、固定層2と磁区制御膜7とが互いに非接触であるため、電流のリークを防止できる。

【0015】次に、各膜の材料を説明する。下部シールド膜10は、CoNbZr等のCo系非晶質合金、NiFe合金、FeAlSi合金膜、あるいはCoNiFe合金により形成する。膜厚は、1μm以上5μm以下である。上部シールド膜9は、NiFe合金やCoNiF

10

20

30

40

50

e合金により形成し、磁歪定数の絶対値が $5 \times 10^{-8}$ 以下である。上部シールド膜9は、記録用薄膜磁気ヘッドの下部コアを兼用することができ、この場合、上部シールド膜9を強磁性層と酸化物との多層膜や、BやPなどの半金属を含む強磁性合金膜にすることができる。また、上部シールド膜9は、記録用薄膜磁気ヘッドの高周波特性向上のために高比抵抗( $40 \mu\Omega\text{cm}$ 以上)であることが望ましい。

【0016】電極膜8は、磁気抵抗効果膜20の下地膜となるので、磁気抵抗効果膜20の特性が安定かつ高抵抗変化量となるような電極膜とする必要がある。具体的には、電極膜8の表面は、平滑かつ清浄面が望ましく、また高電流密度を考慮すると高融点材料が望ましい。よって、高融点材料で発熱の少ない低比抵抗材料であるTa、Nb、Ru、Mo、Pt、Ir等あるいは、これらの元素を含む合金、例えば、Ta合金、TaW合金により、またはW、Cu、Al等の合金により、スパッタリング法や真空蒸着法等で電極膜8を形成する。この電極膜8の膜厚は、3~30nmであり、シールド膜10とシールド膜9との間隔によって膜厚を変える。薄くすればシールド膜10とシールド膜9との間隔を狭くでき、再生用TMRヘッドの分解能を高めることが可能となる。この電極膜8は、多層膜(例えば、Ta層/Pt層/Ta層の多層構造やTa層/Cu層/Ta層の多層構造等)としても良い。

【0017】電極膜5は、電極膜8と同種の材料で形成する。

【0018】磁気抵抗効果膜20の自由層3は、NiFe合金、Co合金、FeCo合金、CoNiFe合金等のいずれかの強磁性材料からなる単層構造か、もしくは界面での拡散防止あるいは異方性分散の抑制のために強磁性層を含む多層構造にすることができる。多層構造としては、例えば、Co層/NiFe層/Co層の多層構造や、Co層/NiFe合金層/CoFe層の多層構造にすることができる。自由層3の材料、ならびに単層にするか多層にするかは、下地である電極膜8との組合せによっても決定される。固定層2は、CoやCo合金により形成するか、あるいは自由層3と同じ材料または構造にすることが可能である。また、固定層2は、磁性層と非磁性層との多層構造にすることもできる。例えば、Co層/Ru層/Co層のように強磁性層/非磁性層/Co層のような多層構造とすることができる。反強磁性層4は、IrMn、CrMn系合金(CrMnPtやCrMnRuやCrMnRh)、MnRh合金、MnPt合金、MnPtPd合金、NiMn合金、NiMnPd合金、MnRhRu合金、NiO、CoO合金、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>合金、CrAl合金により形成することができる。あるいは、これらの材料層の組合せからなる多層膜によって反強磁性膜4を形成することもできる。自由層3の膜厚は3~10nm、固定層2は1~10nm

m、反強磁性膜4は2~25nmである。これらは、スパッタリング法を用いて形成できる。

【0019】磁気抵抗効果膜20の絶縁層1は、酸化物、窒化物、フッ化物、ホウ化物のいずれか、もしくは、いずれかを含む材料により形成する。例えば、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やSiO<sub>2</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、TiO<sub>2</sub>あるいはペロブスカイト構造を持つ酸化物またはこれらの酸化物の一部に窒素が添加された酸化物と窒化物の混合相により形成する。また、絶縁層1は、多層膜であっても良い。絶縁層1の膜厚は、0.2nm~3nmと極薄くする。

【0020】一方、絶縁膜6は、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やSiO<sub>2</sub>により形成する。また、非磁性金属膜/酸化物膜/非磁性金属膜の多層構造あるいは、強磁性金属膜/酸化物膜/強磁性金属膜のような多層構造にすることにより、絶縁耐圧の高い絶縁膜とすることができる。例えば、Al膜/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜/Al膜の多層構造や、Ni膜/NiO膜/Ni膜の多層構造や、Co膜/CoO膜/Co膜の多層構造にすることができる。また、Ti、Sr、Baのうち少なくとも一つの元素を含む酸化物により絶縁膜6を形成することもできる。このようなTiやSrやBaを含む膜は、ペロブスカイト構造を含んだ膜となり、絶縁耐圧を高くすることが可能である。

【0021】磁区制御膜7は、Co系の硬質強磁性膜により形成する。磁区制御膜7の下地に非磁性金属であるCr、Nb、あるいはTa膜を配置しても良い。

【0022】なお、絶縁膜6の貫通孔21は、トラック幅を決定するため、できるだけ小さい幅に形成することが望ましい。このための製造工程としては、例えば次のような手順にすることができる。まず、基板31上に下部シールド膜10と磁気抵抗効果膜20を成膜し、磁気抵抗効果膜20をミリング法を用いてエッチングした後、磁区制御膜7を成膜する。このとき、磁気抵抗効果膜20上に成膜される磁区制御膜7は、リフトオフ法により取り除く。さらに絶縁膜6を成膜する。絶縁膜6は、スパッタリング法やCVD法で形成される。次にこの絶縁膜をRIE(反応性イオンエッチング)法を用いてエッチングし、貫通孔21を形成する。このエッチング条件が重要であり、エッチングガスにはCHF<sub>3</sub>や塩素系ガスをを用いて、貫通孔21の幅が狭くなるように形成する。その後、電極膜5を形成し、貫通孔21を電極膜5により充填する。そして、エッチングやCMP(化学的機械的研磨法)により電極膜5の表面を平滑に加工し、平滑な電極膜5の上に上部シールド膜9をスパッタリング法やメッキ法を用いて形成する。その後、この上に記録用の薄膜磁気ヘッドを形成する。

【0023】このような構成の図1の再生用TMRヘッドを搭載した磁気抵抗効果ヘッドによって、記録媒体の磁気情報を再生する動作について説明する。まず、磁気抵抗効果ヘッドの浮上面51を記録媒体上で浮上させ、これにより、浮上面51を記録媒体とわずかな間隔をあ

10

20

30

40

50

けて対向させる。固定層2の磁化方向は、反強磁性膜4との磁気的交換結合によって固定されているため変化しない。一方、自由層3の磁化は、記録媒体の磁気情報の磁化方向と応じて回転する。よって、固定層2の磁化方向と自由層3の磁化方向は、記録媒体の磁気情報によって、平行もしくは逆平行のいずれかの状態となる。電極膜5、8間に電流を流すと、電流は磁気抵抗効果膜20の絶縁層1をトンネルして膜厚方向に流れる。このとき、スピントンネル磁気抵抗効果により、磁気抵抗効果膜20の電気抵抗は、固定層2の磁化方向と自由層3の磁化方向が平行か逆平行かにより異なる。よって、電極膜5、8間の電流を検出し、抵抗変化率を検出することにより、記録媒体の磁気情報を再生することができる。また、記録媒体に磁気情報を記録する際には、浮上面51を記録媒体上で浮上させ、再生用TMRヘッドの上に搭載されている記録用薄膜磁気ヘッドによって記録する。

【0024】上述してきた第1の実施の形態の図1の再生用TMRヘッドは、絶縁膜6により磁気抵抗効果膜20と接する電極膜5の幅を狭め、トラック幅を磁気抵抗効果膜20の幅よりも狭くしている。従って、磁気抵抗効果膜20の幅を狭めることなく、容易にトラック幅を狭くすることができ、磁気記録再生装置の磁気ディスクの記録密度を増加させることができる。

【0025】また、図1の再生用TMRヘッドでは、磁区制御膜7と固定層2が、互いに接触しないような位置関係にしているため、電流が、固定層2から磁区制御膜7を通して電極膜8にリークするのを防ぐことができる。これにより、磁気抵抗効果膜20を膜厚方向に流る電流を増加させることができるため、スピントンネル磁気抵抗効果による磁気抵抗効果膜20の抵抗変化率の検出に寄与する電流量が増加し、抵抗変化率の検出効率を高めることができる。

【0026】このように、第1の実施の形態では、高記録密度に対応可能であり、しかも、抵抗変化率の検出効率が高い再生用TMRヘッドが得られる。

【0027】つぎに、第2の実施の形態の再生用TMRヘッドを図2に示す。

【0028】図2の構成において、すでに説明した図1と同じ層、膜については同じ符号を付した。図2の再生用TMRヘッドで図1の再生用ヘッドと大きく異なるのは、磁気抵抗効果膜20の両端部が、磁区制御膜7の上にかかるような構造にしていることである。このような構造にすることにより、自由層2と磁区制御膜7との間には、必ず絶縁層1が存在するため、自由層2から磁区制御膜7へ電流のリークをいっそう効果的に防ぐことができる。したがって、磁区制御膜7を低比抵抗の膜(CoCr合金膜)にすることも可能である。また、図2の構成では、上部シールド膜9を上部電極膜5と兼用している。これにより製造工程を簡略化することができる。

【0029】図2の構造において、絶縁膜6をSiO<sub>2</sub>により形成し、CHF<sub>3</sub>をエッチングガスとしてRIEにより貫通孔21を形成した場合、形成可能な貫通孔21の幅(トラック幅)は0.2μm~0.3μmである。このトラック幅は、記録密度20Gb/in<sup>2</sup>以上の高記録密度を実現することができる。

【0030】つぎに、第3の実施の形態の再生用TMRヘッドを図3に示す。

【0031】図3の構造において、図1の層、膜と同じものには、同じ符号を付している。図3は、磁気抵抗効果膜20は、側面に50度から80度の角度テーパがある。このテーパは、磁気抵抗効果膜20をイオンミリングする際のイオンの入射条件により生じるものである。下部シールド膜10は、Co系非晶質合金あるいはFeAlSi合金膜である。電極膜8は、Ta合金、TaW合金、あるいは、Nb、Mo、W、Cu、AlあるいはRu、Pt等の貴金属合金である。電極膜8は、多層膜(例えば、Ta層/Pt層/Ta層の多層構造や、Ta層/Cu層/Ta層の多層構造)である。自由層2は、界面での拡散防止あるいは異方性分散の抑制のために多層膜としている。例えば、Co層/NiFe層/Co層の多層構造とする。

【0032】つぎに、図3の再生ヘッドの製造工程について、図11(a)~(d)および図12(e)~(g)を用いて説明する。

【0033】まず、基板31(図3、図11、図12では不図示)上にスパッタリング法やメッキ法により下部シールド膜10を形成した後、電極膜8を蒸着法によって形成する。その後、電極膜8の表面をイオンクリーニングした後、磁気抵抗効果膜20の自由層3、絶縁層1、固定層2、反強磁性膜4を順に成膜する。そして、磁気抵抗効果膜20の4層をイオンミリングにより加工する。加工した磁気抵抗効果膜20の上に、図11(a)のような形状のレジスト膜12を形成した後、磁区制御膜7を成膜し(図11(b))、レジスト膜12を溶かし、磁気抵抗効果膜20上の磁区制御膜7をリフトオフする(図12(c))。その後、絶縁膜6を形成し、この上にレジスト膜13を形成し、レジスト膜13をパターニングする(図11(d))。このレジスト膜13をマスクとして、RIEによって絶縁膜6を加工する。これにより貫通孔21が形成できる(図12(e))。なお、RIEによって反強磁性膜4がダメージを受けるのを防ぐために、反強磁性膜4と絶縁膜6との間にストップパ膜をあらかじめ形成しておくこともできる。そして、レジスト膜13を除去し(図12(f))、絶縁膜6の上に上部シールド膜9を形成する(図12(g))。これにより、図3の再生用TMRヘッドを作製できる。

【0034】なお、図2、図3の上部シールド膜9は、電極膜5と兼用になっているが、この場合、絶縁膜6お

よび磁気抵抗効果膜20に沿った形状となるため、図1の構造と比較し、上部シールド膜9が平滑でない。そのため、貫通孔21付近で、上部シールド膜9に磁壁が発生しやすい。これを防止するためには、貫通孔21の付近に、非磁性膜を形成して、多層のシールド膜9にすれば良い。例えば、NiFe層/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層/NiFe層のような多層構造のシールド膜9にすると、磁壁の発生を防止でき、再生用TMRヘッド出力の変動の防止、ノイズ発生の防止に寄与することがわかっている。

【0035】つぎに、第4の実施の形態の再生用TMRヘッドを図4に示す。

【0036】図4の構成において、すでに説明した図1と同じ層、膜については同じ符号を付した。図4の再生用TMRヘッドは、磁気抵抗効果膜20にテーバがあり、しかも、磁気抵抗効果膜20の中の自由層3が他の層1、2、4よりも幅が広くっており、自由層3の上面の両端に絶縁膜6が接するようにしている。このため、図4の構成は、図3の構成と比較して、磁区制御膜7と固定層2とが絶縁膜6により完全に隔離されるため、高い信頼性で、電流が固定層2から磁区制御膜7へリークするのを防ぐことができる。

【0037】図4の再生用TMRヘッドを作製する際には、磁気抵抗効果膜20の自由層3のみを成膜した後、一旦ミリングを行い自由層3のみを加工し、この上に絶縁層3、固定層2、反強磁性膜4の3層を形成した後、再度ミリングしてこれら3層を加工するようにする。あるいは、磁気抵抗効果膜20の4層を一度に成膜し、ミリングにより絶縁層3、固定層2、反強磁性膜4の3層をエッチングし、自由層3の上でエッチングを止めるようにすることで図4のような形状を実現できる。他の製造手順ならびに材料は、図3の実施の形態と同様にすることができる。

【0038】つぎに、磁区制御膜7と磁気抵抗効果膜の間に高比抵抗膜11を設けた実施の形態を図5から図8にそれぞれ示す。この高比抵抗膜11は、磁気抵抗効果膜20を膜厚方向に流れる電流が、磁区制御膜7にリークするのを防止するものであり、絶縁膜あるいは半導体膜によって形成する。

【0039】図5の再生用TMRヘッドは、図3の構成に似ているが、絶縁膜6を備えず、その代わりに高比抵抗膜11を備えている。高比抵抗膜11は、磁気抵抗効果膜20の側面を覆うように配置され、その外側に磁区制御層7が配置されている。高比抵抗膜11には、図3の絶縁膜6と同様に貫通孔が形成され、この貫通孔の幅が、反強磁性膜4に接する電極膜5（上部シールド膜9兼用）の幅、すなわちトラック幅を決定する。

【0040】図5の再生用TMRヘッドを作製する手順を簡単に説明する。まず、基板31上に下部シールド膜10、電極膜8、磁気抵抗効果膜20を成膜した後、磁気抵抗効果膜20をミリング法により加工する。この上

に、SiO<sub>2</sub>またはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等により膜厚5～10nmの高比抵抗膜11をスパッタリングにより成膜する。スパッタリング条件（特に基板とターゲット間の距離）を変えることにより膜の付き周りを換え、図5のような厚さの高比抵抗膜11を作製する。その後、磁区制御膜7を成膜する。磁区制御膜7の膜厚は、5～20nmである。磁気抵抗効果膜20の上部の磁区制御膜7は、図11(b)、(c)と同じようにリフトオフ法により取り除く。また、高比抵抗膜11には図11(d)、図12(e)、(f)と同様の手法により、貫通孔を形成する。その後、上部シールド膜9（電極膜5兼用）を形成する。

【0041】一方、図6～図8の各構成は、絶縁膜6も高比抵抗膜11も備えている。高比抵抗膜11の膜厚は、磁気抵抗効果膜20の側面の上部ほど薄く、他の平坦な部分では一様な厚さとなっている。磁区制御膜の上面は、磁気抵抗効果膜20の上面と一致した平坦な面になっている。よって、絶縁膜6は、一様な膜厚になる。また、磁気抵抗効果膜20の各層が順番が図1～図5の構成とは全く逆の順番になっている。すなわち、電極膜8側から反強磁性膜4、固定層2、絶縁層1、自由層3の順に配置されている。トラック幅は、図1から図4の構造と同じく絶縁膜6の貫通孔の間隔で決定される。

【0042】また、図7の構成は、下部の電極膜8（磁気抵抗効果膜20の下地膜を兼用）もミリング法により加工し、電極膜8の側面部にも高比抵抗膜11を形成したものである。また、図8の構成では、高比抵抗膜11が自由層3の上面の両端部まで乗り上げている。

【0043】ここで、図6の構成の再生用TMRヘッドの製造工程について、図13(a)～(d)、図14(e)～(g)を用いて説明する。

【0044】まず、基板31（図6、図13、図14では不図示）上にスパッタリング法やメッキ法により下部シールド膜10を形成した後、電極膜8を蒸着法によって形成する。その後、電極膜8の表面をイオンクリーニングした後、磁気抵抗効果膜20の反強磁性膜4、固定層2、絶縁層1、自由層3を順に成膜する。そして、磁気抵抗効果膜20の4層および電極膜8をイオンミリングにより加工する。加工した磁気抵抗効果膜20の上に、図13(a)のような2段形状のレジスト膜42を形成する。この上に、高比抵抗膜11を成膜し（図13(b)）、その後レジスト膜42を溶かして磁気抵抗効果膜20上の高比抵抗膜11をリフトオフする。この上に、磁区制御膜7を成膜する（図13(c)）。磁区制御膜7の上面をCMP（化学的機械的研磨法）により研磨して平坦にする（図13(d)）。この上に、絶縁膜6を形成し、さらにレジスト膜43を形成し、レジスト膜43をパターニングする（図14(e)）。このレジスト膜43をマスクとして、RIEによって絶縁膜6を加工する。これにより貫通孔21が形成できる（図14

(e))。そして、レジスト膜43を除去し、絶縁膜6の上に上部シールド膜9(電極膜5兼用)を形成する(図14(g))。これにより、図7の再生用TMRヘッドを作製できる。

【0045】上述の図5～図8の各構成の再生用TMRヘッドは、高比抵抗膜11により磁気抵抗効果膜20の側面全体を覆い、磁区制御膜7と磁気抵抗効果膜20とを電氣的に隔絶している。これにより、固定層2から磁区制御膜7を通して電極膜8に至るリーク電流が生じることがないため、磁気抵抗効果膜20を膜厚方向に流る電流を増加させることができ、スピントネル磁気抵抗効果による磁気抵抗効果膜20の抵抗変化率の検出効率を高めることができる。

【0046】また、図1から図3の構成と同様に、図5～図8の構成も、絶縁膜6や高比抵抗膜11により磁気抵抗効果膜20と接する電極膜5の幅を狭め、トラック幅を磁気抵抗効果膜20の幅よりも狭くしているため、磁気抵抗効果膜20の幅を狭めることなく、容易にトラック幅を狭くすることができ、磁気記録再生装置の磁気ディスクの記録密度を増加させることが可能である。

【0047】さらに、図6～図8の構成は、磁区制御膜7の上面を磁気抵抗効果膜20の上面と一致させ、平坦にしているため、上部シールド膜9(電極膜5兼用)は、貫通孔21の部分を除いて一様な膜厚にできる。このため、上部シールド膜9に磁壁が生じにくく、上部シールド膜9の特性を向上させることができる。

【0048】つぎに、上述してきた本実施の形態の記録再生ヘッドを用いた磁気記録再生装置の全体の構成と動作について図9を用いて説明する。

【0049】記録再生ヘッド210は、上述してきた図1～図8の再生用TMRヘッドのいずれかと、その上に搭載された記録用薄膜磁気ヘッドとを備えたものである。記録再生ヘッド210は、浮上面51を下に向けてパネ211の先端に支持されている。パネは、ヘッド位置決め機構320に取り付けられている。ヘッド位置決め機構320は、記録再生ヘッド210を記録媒体(ハードディスク)110上に位置決めする。記録媒体110は、スピンドルモータ310により回転駆動される。記録再生ヘッド210のTMRヘッドの電極膜5、8間に流れる電流は、再生信号処理系330により処理され、記録媒体110の磁気情報が再生されてコントローラ340に受け渡される。具体的には、電極膜5、8間に流れる電流は、プリアンプ331で増幅され、データ再生回路332により抵抗変化率が検出され、復号器333により復号される。また、サーボ検出器33は、プリアンプ331の出力から記録再生ヘッド210をトラッキング制御する。

【0050】図9の磁気記録再生装置は、記録再生装置の再生ヘッドとして、本実施の形態の図1～図8のうちのいずれかの構成のTMRヘッドを搭載している。この

TMRヘッドは、磁区制御膜7への電流のリークを防止できるため、再生信号処理系330において、高い検出効率でスピントネル磁気抵抗効果による抵抗変化率を検出でき、再生時の検出感度の高い磁気記録再生装置を得ることができる。また、このTMRヘッドは、磁気抵抗効果膜20に接する電極膜5の幅を狭めているため、トラック幅が狭く、高い記録密度で記録された記録媒体110の磁気情報を再生することができる。

【0051】このように、本実施の形態では、スピントネル磁気抵抗効果を用いる記録再生ヘッドであって、リーク電流を防止でき、しかも、トラック幅の狭い、実用化可能なヘッドの構造を提供できる。

【0052】

【発明の効果】上述してきたように、本発明によれば、スピントネル磁気抵抗効果(TMR)を用いる再生用ヘッドであって、抵抗変化率の検出効率が高く、実用化可能なヘッド構造を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態の記録再生ヘッドの再生用TMRヘッド部分の構成を示す断面図。

【図2】本発明の第2の実施の形態の記録再生ヘッドの再生用TMRヘッド部分の構成を示す断面図。

【図3】本発明の第3の実施の形態の記録再生ヘッドの再生用TMRヘッド部分の構成を示す断面図。

【図4】本発明の第4の実施の形態の記録再生ヘッドの再生用TMRヘッド部分の構成を示す断面図。

【図5】本発明のさらに別の実施の形態の記録再生ヘッドの再生用TMRヘッド部分であって、高比抵抗膜11を配置した構成を示す断面図。

【図6】本発明のさらに別の実施の形態の記録再生ヘッドの再生用TMRヘッド部分であって、高比抵抗膜11を配置した構成を示す断面図。

【図7】本発明のさらに別の実施の形態の記録再生ヘッドの再生用TMRヘッド部分であって、高比抵抗膜11を配置した構成を示す断面図。

【図8】本発明のさらに別の実施の形態の記録再生ヘッドの再生用TMRヘッド部分であって、高比抵抗膜11を配置した構成を示す断面図。

【図9】本実施の形態の記録再生ヘッドを用いた磁気記録再生装置の主要部の構成を示す説明図。

【図10】本発明の第1の実施の形態の記録再生ヘッドの再生用TMRヘッド部分の構成を示す斜視図。

【図11】(a)～(d)図3の構成の再生用TMRヘッドの製造工程を示す断面図。

【図12】(e)～(g)図3の構成の再生用TMRヘッドの製造工程を示す断面図。

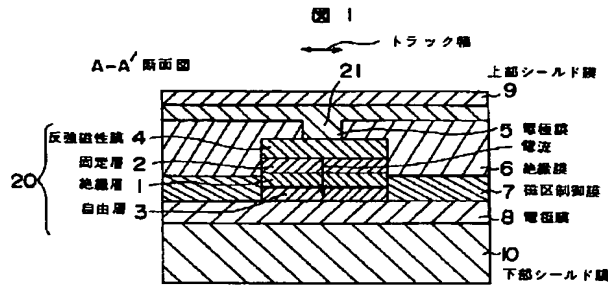
【図13】(a)～(d)図7の構成の再生用TMRヘッドの製造工程を示す断面図。

【図14】(e)～(g)図7の構成の再生用TMRヘッドの製造工程を示す断面図。

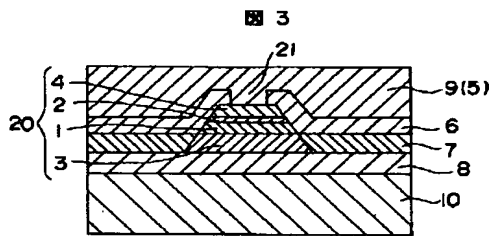
## 【符号の説明】

1…絶縁層、2…固定層、3…自由層、4…反強磁性膜、5…電極膜、6…絶縁膜、7…磁区制御膜、8…電極膜、9…上部シールド膜、10…下部シールド膜、11…高比抵抗膜、12、13、42…レジスト膜、20…磁気抵抗効果膜、21…貫通孔、31…基板、51…\*

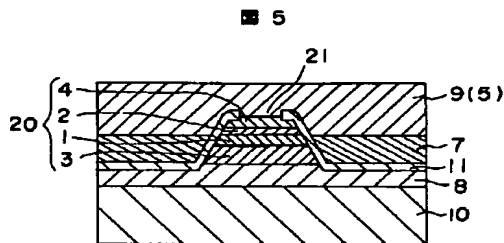
【図1】



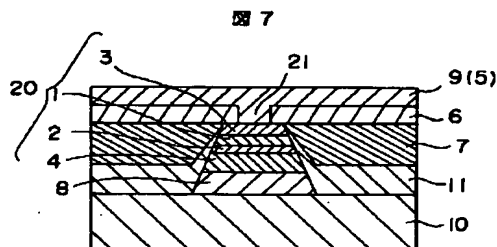
【図3】



【図5】

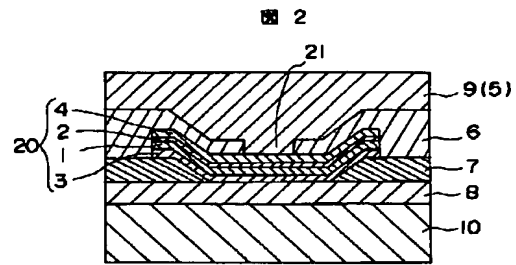


【図7】

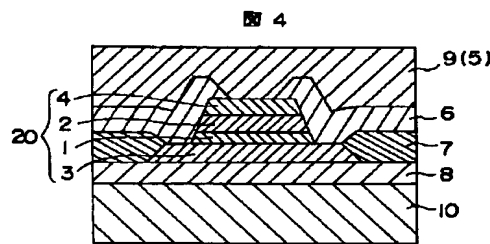


\* 浮上面、110…記録媒体（ハードディスク）、210…記録再生ヘッド、211…バネ、310…スピンドルモータ、320…ヘッド位置決め機構、330…再生信号処理系、331…プリアンプ、332…データ再生回路、333…復号器、334…サーボ検出器、340…コントローラ。

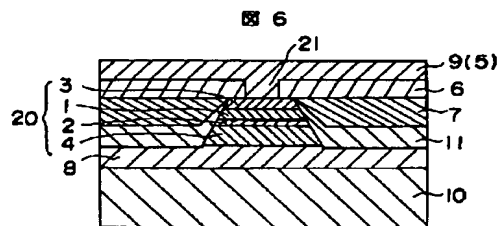
【図2】



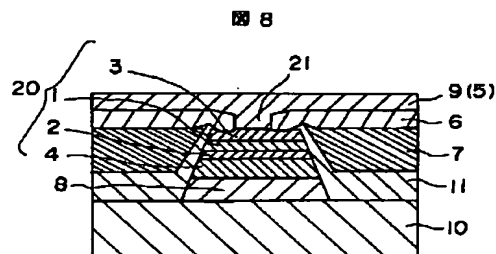
【図4】



【図6】

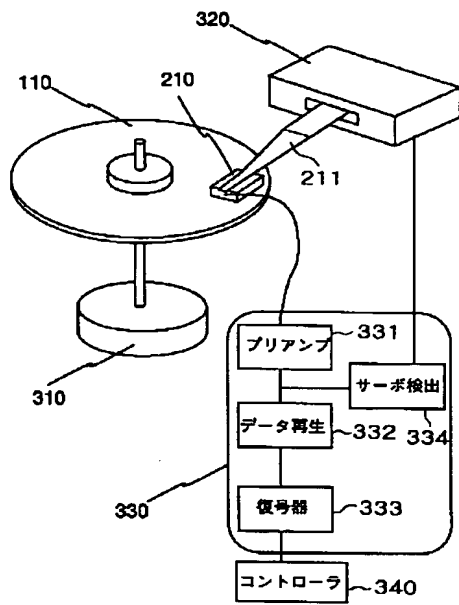


【図8】



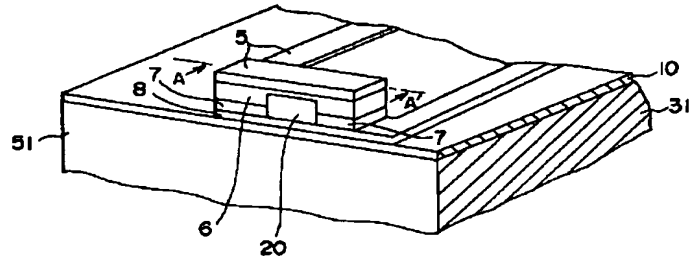
【図9】

図9



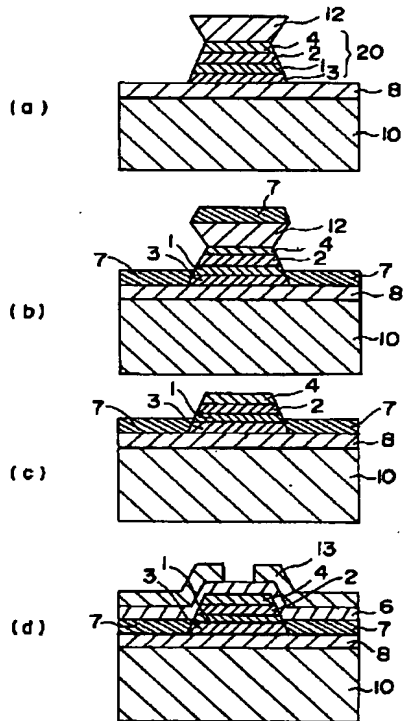
【図10】

図10



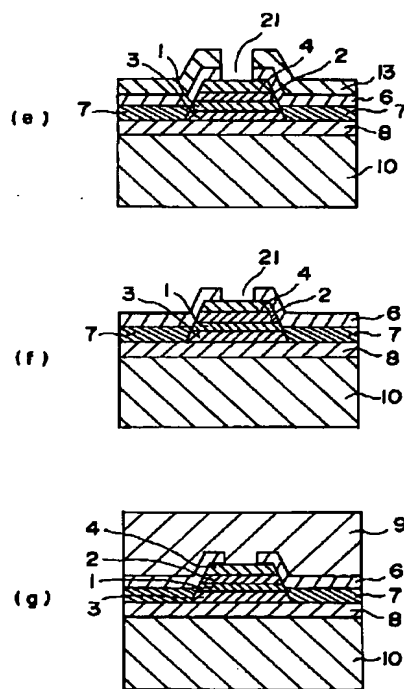
【図11】

図11

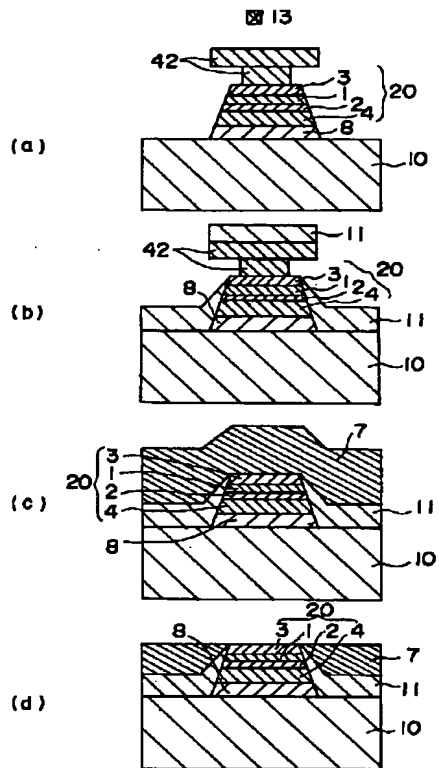


【図12】

図12



【図13】



【図14】

